



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**RECYKLACE PRACHU Z BROUŠENÍ PÁLENÝCH
ZDICÍCH PRVKŮ V PODOBĚ GRANULÁTU**

RECYCLING OF CLAY BRICKS DUST AS GRANULATE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeňka Prokopová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství |
| Pracoviště | Ústav technologie stavebních hmot a dílců |

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|------------------------|---|
| Student | Zdeňka Prokopová |
| Název | Recyklace prachu z broušení pálených zdicích prvků v podobě granulátu |
| Vedoucí práce | doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D. |
| Datum zadání | 30. 11. 2019 |
| Datum odevzdání | 22. 5. 2020 |

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,
dr.h.c.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3
- [2] Cihlářský svaz Čech a Moravy. Cihlářský lexikon. 1. vydání. České Budějovice: CSCM, 2001. 128 s.
- [3] Lach, V. Mikrostruktura stavebních látek. 2. vyd. Brno: VUT, 1991. 178 s. ISBN 80-214-0309-8
- [4] Pytlík, P. Cihlářství, 1. vyd. Brno CERM 1995, 264 s.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Produkce prachu, který vzniká během broušení cihlářských tvarovek podle ČSN EN 771-1, každoročně stoupá. Jeho recyklace v původním stavu (prach) je možná v cihlářské surovinové směsi pouze ve velmi omezeném objemu a nikterak nezvyšuje užité vlastnosti střepu ani nepřispívá k efektivitě technologie výroby, spíše naopak. Jednou z možností recyklace takto vzniklého cihelného brusného prachu (CBP) v cihlářské technologii je jeho granulace, která se daří na prototypu granulačního talíře v laboratorních podmínkách firmy Svoboda a syn, s.r.o.

Cíle bakalářské práce:

- V teoretické části popsat cihlářskou technologii a formou literární rešerše shrnout dosavadní publikované pokusy o využití uměle vyráběných ostřiv v cihlářské technologii. Pokuste se také uceleně shrnout vlastnosti ostřiv používaných v cihlářské technologii a metody jejich zkoušení.
- V praktické části se pokuste v laboratorních podmínkách ověřit chování laboratorně vyrobeného granulátu vzniklého z CBP na granulačním talíři v plastickém těstě, zejména po průchodu válcovým mlýnem (změna granulometrie, tvar apod.), a ve vypáleném střepu (pórovitost, pevnost, tepelná vodivost). Výsledky porovnejte se standardně používanými ostřivy (mj. křemenný písek, lomový kámen).

Předpokládaný rozsah práce 40 - 50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na recyklaci cihelného brusného prachu v podobě granulátu vyrobeného na peletizačním talíři. V teoretické části byla popsána ostřiva používaná v cihlářské technologii a možné metody jejich zkoušení. Jsou zde uvedeny i publikované pokusy o výrobu nebo použití uměle vyráběných ostřiv v cihlářské technologii. Je uvedeno i několik příkladů prodáváných umělých ostřiv. V teoretické části se v laboratorních podmínkách ověřovalo chování vyrobeného granulátu z cihelného brusného prachu na peletizačním talíři v plastickém těstě, pak zejména jeho chování po průchodu laboratorním válcovým mlýnem. Hodnotila se změna granulometrie a tvaru ostřiva. Ve vypáleném střepu se hodnotilo rozložení, granulometrie a tvar ostřiva a tepelná vodivost vypáleného střepu. Pro srovnání se použilo standartně používané ostřivo, a to křemenný písek a lomový kámen. V souladu s výsledky se dá říci, že granulát z cihelného brusného prachu může minimálně částečně nahradit jiný druh ostřiva, avšak je zapotřebí provedení obsáhlejších výzkumů.

KLÍČOVÁ SLOVA

cihelný brusný prach, recyklace, granulace cihelného brusného prachu, ostřivo, umělé ostřivo, válcový mlýn

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on recycling of brick sanding dust in the form of granulate produced on a pelletizing plate. The theoretical part describes the grog used in brick technology and possible methods of testing them. There are also examples of published experiments of how to produce or use artificial grog in the brick technology. There are also several examples of artificial grog that is currently available on the market. In the theoretical part, the behavior of the produced granulate from brick sanding dust on a pelletizing plate in a plastic dough was verified in laboratory conditions, then especially its behavior after passing through a laboratory roller mill. The change in granulometry and shape of the grog was evaluated. The distribution, granulometry and shape of the grog and the thermal conductivity of the fired shard were evaluated. For comparison, the standard used grog was used, namely quartz sand and quarry stone. Based on the results, it can be said that brick sanding dust granulate can at least partially replace another type of grog, but more extensive research is needed.

KEYWORDS

brick sanding dust, recycling, granulation of brick sanding dust, grog, artificial grog, roller mill

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Zdeňka Prokopová *Recyklace prachu z broušení pálených zdicích prvků v podobě granulátu*. Brno, 2020. 69 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Recyklace prachu z broušení pálených zdicích prvků v podobě granulátu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 3. 2020

Zdeňka Prokopová

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Recyklace prachu z broušení pálených zdicích prvků v podobě granulátu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 3. 2020

Zdeňka Prokopová

autor práce

Poděkování

Chci poděkovat především svému vedoucímu práce doc. Ing. Radomíru Sokolářovi, Ph.D. za cenné rady. Dále panu Ing. Michalu Batelkovi, Ph.D. za cenné rady ohledně peletizace a firmě Svoboda a syn, s. r. o. za umožnění provedení peletizace. Samozřejmě chci poděkovat své rodině za trpělivost a podporu. Chci poděkovat i svým nejlepším přátelům za podporu a dobré rady.

Obsah

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Úvod..... | 11 |
| 2. | Cíl práce..... | 12 |
| 3. | Teoretická část | 13 |
| A. | Úvod do teoretické části | 13 |
| a. | Neplastické suroviny | 13 |
| b. | Ostřiva | 14 |
| B. | Druhy používaných ostřiv v cihlářské technologii | 16 |
| a. | Nejčastější druhy používaných ostřiv v cihlářské technologii a jejich vlastnosti | 16 |
| b. | Ostřiva pro žárovzdornou výrobu..... | 18 |
| c. | Ostatní přírodní suroviny pro jemnou keramiku..... | 22 |
| d. | Odpadní látky používané jako ostřivo i jako lehčivo | 24 |
| C. | Zkoušky prováděné na kamenivech | 26 |
| a. | Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva dle ČSN EN 1097-3 | 26 |
| b. | Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor dle ČSN EN 933-1 | 28 |
| c. | Stanovení odporu při stlačování – dle ČSN EN 13055..... | 30 |
| d. | Stanovení nasákavosti drobného pórovitého kameniva – dle ČSN EN 13055 | 32 |
| D. | Dosavadní publikované pokusy o výrobu nebo využití uměle vyráběných ostřiv | 34 |
| a. | Bezprašné sypké ostřivo se sníženou nasákavostí pro keramickou a cihlářskou výrobu (1976)..... | 34 |
| b. | Způsob výroby keramického ostřiva s vyšším obsahem kyslíčníku hlinitého (1979) | 35 |
| c. | Spinelitické ostřivo (1995)..... | 35 |
| d. | Žárovzdorné materiály Cordierite-mullite (1995) | 36 |
| e. | „ekologické cihly“ vyrobené z jílu a znečišťujících látek z oceli (1996)..... | 36 |
| f. | Strukturální keramika vyrobená z hliněných a ocelových prachových znečišťujících látek (2011)..... | 37 |
| g. | Způsob získávání bílého kalcinovaného plnidla, ostřiva nebo lehčiva s vysokou odrazivostí (2013)..... | 38 |
| h. | Jílová keramika s obsahem opuky a cihlářského odpadu (2014) | 38 |

| | | |
|----|--|----|
| i. | Geopolymer vyrobený z odpadních pálených cihel a granulovanou vysokopecní struskou (2016) | 39 |
| j. | Umělý kámen vyrobený pomocí zbytků cihel a lomového prachu v epoxidové matrici (2018)..... | 39 |
| k. | Využití keramického kalu při výrobě kameninových hliněných trubek (2018)..... | 39 |
| E. | Prodáváná uměle vyráběná ostřiva | 40 |
| a. | Nabalox | 40 |
| b. | Virginia Kyanite | 40 |
| c. | Virginia mullite..... | 41 |
| d. | Dense Corundum | 41 |
| e. | Cerabeads | 41 |
| f. | LK – SAND..... | 42 |
| F. | Válcový mlýn | 42 |
| 4. | Praktická část | 44 |
| A. | Použité suroviny | 44 |
| a. | Mletý kaolín Sedlec la..... | 44 |
| b. | Granulát z cihelného brusného prachu..... | 45 |
| c. | Křemenný písek Žabčice | 45 |
| d. | Lomový kámen – Diabas, Chrtníky..... | 45 |
| B. | Návrh metodiky posuzování kompatibility cihlářských ostřiv .. | 46 |
| a. | 1. etapa: výroba a analýza granulátu z cihelného brusného prachu, analýza ostřiv vybrané pro porovnávání | 46 |
| b. | 2. etapa: výroba keramického těsta, vytváření cihel a jejich sušení | 47 |
| c. | 3. etapa: výpal výsušků, zkoušky prováděné na vypálených cihelkách | 48 |
| d. | 4. etapa: shrnutí výsledků a jejich vyhodnocení | 48 |
| C. | Ověření vybraných částí navržené metodiky | 49 |
| a. | 1. etapa: výroba a analýza vstupní suroviny – granulátu z cihelného brusného prachu..... | 49 |
| b. | 2. etapa: příprava vzorků | 52 |
| c. | 3. etapa: výpal výsušků, zkoušky vypálených cihel..... | 56 |
| D. | Shrnutí výsledků | 60 |
| 5. | Závěr | 62 |
| 6. | Seznam použitých zdrojů | 64 |

1. Úvod

Vytvořené odpady jsou prakticky ze všech průmyslových odvětví více než kdy jindy celosvětovým problémem nejen kvůli rozsáhlému znečištění životního prostředí, ale také kvůli nepochybným změnám klimatu. Začlenění těchto odpadů a zbytků do kompozitních materiálů je v současné době považováno za moderní řešení. Nevhodné zneškodňování těchto zbytků je dnes celosvětovým problémem. [16]

V cihlářském průmyslu je snaha o postupnou inovaci technologie výroby. Produkce se více zaměřuje na výrobu broušených cihel, které jsou využívány na takzvané rychlé a přesné zdění na tenkou vrstvu speciální malty či polyuretanové pěny. Při broušení cihel vzniká cihelný obrus, což je jemný prach obsahující i úlomky cihel. Tento materiál bývá v malém procentu vrácen zpět do výroby, ale zbylá část je skladována a nevyužita. Vracení části brusného prachu do výroby ale nepřináší žádný užitek, spíše naopak.

S ohledem na životní prostředí je potřeba minimalizovat produkci samotného cihelného brusu při výrobě broušených cihel, a to pomocí jeho recyklace, nebo jeho následného využití. [13]

Jednou z možností využití cihelného brusu je jeho peletizace na peletizačním talíři. Touhle problematikou se již zabývá výzkumné oddělení ve firmě Svoboda a syn, s. r. o.

Hlavním důvodem peletizace neboli vzájemného spojování jednotlivých částic do větších celků, je zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností, a možné rozšíření využití tohoto materiálu o další škálu, kdy v práškové formě by jinak skončil na skládkách. Očekává se, že vzniklý granulát bude mít lepší vlastnosti než původní prášková forma. [12]

2. Cíl práce

Tato bakalářská práce si klade za cíl ověřit teoreticky i prakticky možnost využití vyráběného recyklovaného cihelného brusného prachu ve formě granulátu, vyrobeného na peletizačním talíři.

Řešení a ověření dané problematiky je rozděleno do dvou částí, a to části teoretické a části praktické.

V teoretické části bakalářské práce je snaha uceleně shrnout dosavadní druhy používaných ostřiv v keramické technologii. Dále uvést základní normové zkoušky, které se mohou na ostřivech provádět. Uvést několik příkladů dosud publikovaných pokusů o výrobu nebo využití umělých ostřiv, a to jak v tuzemsku, tak také ve světě. Uvedeno je i několik příkladů již prodáváných umělých ostřiv. Okrajově se zabývá i válcovým mlýnem, a to především z důvodu jeho použití v praktické části této bakalářské práce.

V praktické části bakalářské práce je snaha o ověření chování laboratorně vyrobeného granulátu z cihelného brusného prachu na peletizačním talíři v laboratorních podmínkách. Je zde uváděna metodika na posuzování kompatibility cihlářských ostřiv. Jedná se o návrh provedení rozsáhlejšího výzkumu. Metodika je rozdělena do čtyř etap, které na sebe úzce navazují. Část metodiky byla laboratorně ověřena.

První etapa uvádí výrobu granulátu z cihelného brusného prachu a provedení jeho analýzy.

Druhá etapa obsahuje návrh receptur pro výrobu keramického těsta. Dále se zabývá průchodem keramického těsta válcovým mlýnem, změnou granulometrie ostřiva po použití válcového mlýna, výrobou cihlek a jejich sušení.

Třetí etapa se zabývá výpalem výsušků cihlek, zhodnocením rozložení ostřiva a jeho tvaru ve vypáleném střepu. Stanovovala se i tepelná vodivost cihlek.

Poslední čtvrtá etapa obsahuje sjednocení výsledků a jejich následné zhodnocení všech poznatků s ohledem na možný navazující výzkum.

3. Teoretická část

A. Úvod do teoretické části

a. Neplastické suroviny

Ve stavební keramice se obvykle surovinová směs skládá z plastické složky, tj. z jílovinové zeminy v podobě hlín a jílu a z neplastické složky v podobě ostřiv a taviv. [6]

Neplastické suroviny nemají takové jednotící pojítko, jako je tomu u plastických surovin, proto nejsou schopny samy o sobě vytvořit plastické těsto.

Do neplastických surovin se zařazují: ostřiva, taviva, lehčiva a barviva. Často se stává, že některé suroviny plní dvě funkce současně.

Poměr mezi plastickou a neplastickou složkou surovinové směsi neboli pracovní směsi je různý a závisí na:

- vlastnostech a druhu plastické suroviny jakožto pojiva směsi,
- druhu a vlastnostech přísady,
- druhu výrobku,
- způsobu sušení a pálení.

Neplastické suroviny ovlivňují vlastnosti keramických směsí v závislosti na svém obsahu, granulometrickém složení, tvaru částic, vlastnostech materiálu, na způsobu zpracování směsi i na teplotě prostředí.

Při běžné teplotě ovlivňují především tvarovací vlhkost směsi nebo tzv. rozdělovací vodu, plastičnost, zpracovatelnost a plastickou pevnost.

Při sušení keramického materiálu neplastické suroviny ovlivňují smrštění sušením, kritickou vlhkost a mechanickou pevnost během sušení i po vysušení.

Při výpalu ovlivňují mechanické vlastnosti keramického materiálu, smrštění pálením, pórovitost, rychlost slinování a optimální teplotu výpalu.

Po výpalu ovlivňují zejména mechanické vlastnosti keramického materiálu, charakter jeho mikrostruktury a další fyzikální vlastnosti, jako tepelné, elektrické apod. [5]

b. Ostřiva

Ostřiva se zařazují mezi neplastické suroviny. Podíl ostřiv ve směsi může daleko převýšit podíl plastické složky. Před výpalem surovinové směsi slouží ostřiva především ke snížení plastičnosti směsi. Ostření se používá zejména ke snížení lineárního smrštění sušením plastických surovin a k zamezení tvorby textury při tažení na šnekovém lisu.

Vysoký podíl ostřiva ve směsi propůjčuje výrobku své charakteristické vlastnosti a zcela potlačuje pojivou složku. Tak je tomu u žárovzdorných výrobků.

Používají se suroviny odolné vysokým teplotám, které ve střepu při výpalu reagují s okolní hmotou jen v malé míře. Ostřivo vytváří ve střepu podle obsahu nosnou kostru, čímž napomáhá zabraňovat deformaci v žáru, zároveň ostřivo zvyšuje mez toku, je-li soustava v termoplastickém stavu a tím také současně zvyšuje odolnost výrobku proti vysokým teplotám.

Ostřiva jsou přírodní, umělé, popř. odpadní látky. Povahou se blíží chemickému složení surovinové směsi, díky obsaženým oxidům. Významný je také jejich účinek za tepla, spočívající ve vzájemné reakci s oxidy přítomnými v ostatních složkách. Reakce má však proběhnout jen do té míry, aby se pevně vázalo ostřivo s pojivou složkou a aby se získal hutný střep. Pro správné spojení ostřiva s pojivem je důležitý jak tvar, tak i velikost zrna. Tvarově jsou nejvýhodnější zrna ostrohranná, která mezi sebe zapadají a vzájemně se vážou. Velmi pak záleží na celkové granulometrii ostřiva. Ostřivo ovlivňuje také pórovitost střepu, zejména je-li jemnozrnné nebo samo o sobě pórovité.

Ostřiva můžeme rozdělit na ostřiva kyselá a bazická. Do kyselých ostřiv řadíme písky nebo křemen, do bazických řadíme různé druhy šamotů a oxid hlinitý. Další rozdělení je možné podle chemické povahy na:

- křemičitá ostřiva, obsahující převážně SiO_2 – křemen,
- hlinitokřemičitá ostřiva (šamotová) s obsahem SiO_2 a Al_2O_3 (okolo 10 % až 40 %),
- ostřiva zvláštní, např. Al_2O_3 (korund), SiC.

V těstě nebo v drolence za syrova působí jako ostřiva i další přísady, například taviva, zejména hrubozrnná.

Mezi ostatní ostřiva počítáme elektrárenský popílek, strusku (granulovanou) a škváru. Všechna tato ostřiva mají splňovat určité požadavky, a to: maximální velikost zrna 2 mm, málo výkvětovitých látek a stejnorodost. Při určování množství přidávaného ostřiva, je nutné vzít v úvahu jeho výhřevnost, aby nedocházelo k místnímu přepálení, a tím deformaci výrobku. Tyhle typy ostřiva obsahují větší nebo menší množství spalitelných látek, proto působí ve střepe také jako lehčiva, kterými upravujeme objemovou hmotnost výrobků, a tím jeho tepelně izolační vlastnosti. [1][2][3][4][6]

- Působení ostřiva lze shrnout takto:

Ostřivo nepůsobí na kvalitu cihelného střepe jen svou velikostí zrn, ale také tvarem zrn, množstvím a reakční schopností. Ostřivo přidané do 10 % celkové hmotnosti suroviny zpravidla působí pouze minimálně na vlastnosti střepe.

Ostřivo zabraňuje tvorbě textury při vytváření, zejména hrubá zrna, která mají velikost 0,8 mm až 5 mm, a to tím, že se porušuje kluzná texturní plocha zazubením zrn ostřiva. Zpravidla se zlepšuje mrazuvzdornost.

Hrubě a středně zrnitá ostřiva o velikosti 0,2 mm až 1,2 mm mohou vytvářet při formování vlastní napětí ve střepe, pokud jejich křivka zrnitosti nekoresponduje s vlastní surovinou.

Ostřiva inertní mohou střepe provzdušnit. Velmi jemná zrna ostřiv většinou reagují se surovinou, a tak zvyšují pevnost střepe. V každém případě ostřiva ovlivňují velikost a distribuci pórů ve střepe.[4]

B. Druhy používaných ostřiv v cihlářské technologii

a. Nejčastější druhy používaných ostřiv v cihlářské technologii a jejich vlastnosti

▪ Křemičité ostřivo

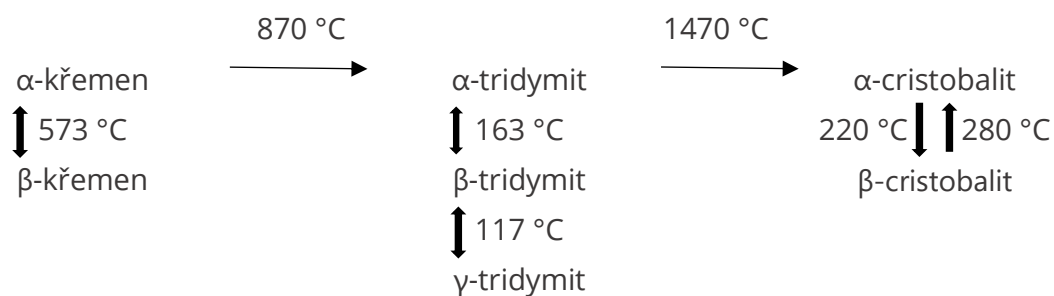
Použití je nejčastější v jemné keramice. Obsahuje ve většině případů více než 92 % SiO_2 . Jedná se o suroviny celistvé, které se musí upravovat drcením, případně mletím na požadovanou zrnitost nebo se jedná o suroviny sypké.

Zdrojem může být krystalický křemen, konkrétně žilný, avšak v knize *Jemná keramika: Úvod a základy technologie* se uvádí, že se již z ekonomických důvodů od zpracování žilných křemenných surovin upustilo, neboť jejich drcení je obtížné a prodražuje výrobu, proto jsou nyní nejčastějším zdrojem zejména písky těžené pro potřeby sklářského průmyslu.

Pro keramické materiály s bílým střepelem po výpalu se požaduje nízký obsah barvicích oxidů, konkrétně barvicí oxidy Fe_2O_3 , TiO_2 , a to v množství okolo 0,01 %.

Dalšími zdroji jsou křemenec (kvarcit), metamorfovaný pískovec s křemičitým tmelem s obsahem více než 92 % SiO_2 , křemenný písek různé čistoty a zrnitosti, křemelina neboli rozsivková zemina organického původu.

Křemen díky modifikačním přeměnám vykazuje působením tepla objemové změny. Objemové změny, které jsou 2 % až 12 % vytváří ve střepele nežádoucí napětí, které může při chlazení vytvořit trhlinky. Jedná se zejména o zrna velká. Při termoplastickém stavu se mohou ještě tato napětí vyrovnávat, avšak při chlazení to možné již není. Proto je střepele v této fázi citlivější k praskání, jeho pevnost vlivem mikrotrhlinek klesá, nasákavost, případně nepropustnost nevyhovuje. Výhodou je, když jíly obsahují potřebné množství křemene v jemných frakcích. Pokud je to z chemického hlediska možné, dává se obecně přednost hlinitokřemičitým ostřivům.[1][2][3][5]



Obrázek 1. Modifikační přeměny při zahřívání křemene [3]

- Náhradní křemičitá ostřiva

Patří zde zejména spongilit, některé diatomity a křemeliny.

Jedná se o horniny, které se snadno melou, takže je jejich výroba ekonomičtější ve srovnání s mletím křemenného písku.

Hlavní technologicky účinnou fází je amorfni kyselina křemičitá nebo špatně vyvinutá, blíže neidentifikovaná krystalická fáze oxidu křemičitého, blížíci se spíše cristobalitu.

Ve střepu snadno reagují za tvorby sklovin nebo velmi jemnozrnného cristobalitu. Jejich slinutí a zreagování ve střepu je ovšem doprovázeno zvýšeným vývojem plynů, což se považuje za značnou nevýhodu. [2]

- Spongilit

Jedná se o křemičité sedimenty, vzniklé z anorganických součástí organismů fosilních hub (spongiae). [2]

- Křemelina (diatomit)

Podobně jako spongility vznikli i diatomity činností mikroorganismů. Jsou to duté křemičité schránky rozsívek (diatomaceae). Vznik křemelin je podmíněn vznikem lignitů, v jejichž těsném nadloží křemeliny obvykle leží. Diatomity jsou částečně zpevněné, lupenité až břidličnaté, barvy bílé až šedé. [2]

- Křemenec

Jedná se o základní surovinu při výrobě dinasů. Křemenec rozlišujeme na krystalický křemenec, který má velikost zrna 0,05 mm až 0,4 mm a na tmelový křemenec, který je technologicky vhodnější, zejména protože krystalický křemenec má stejné velikost zrn, díky čemuž probíhá v žáru jejich přeměna, která je doprovázena nežádoucími velkými objemovými změnami.

Naproti tomu, tmelový křemenec obsahuje jemná zrna β -křemene rozptýlená v křemičitém tmelu, proto se snadno přeměňují s menším objemovým nárůstem. [1]

- Lomový kámen

Často se jedná o kamenný odprašek, který vzniká v lomech u broušení, řezání, drcení a prosévání při výrobě kamenů pro stavební účely. Jedná se především o prach, který představuje asi 10 % zpracovaných kamenných bloků a štěrku a je obvykle vyvážen na skládky. [16]

b. Ostřiva pro žárovzdornou výrobu

- Hlinitokřemičitá – šamot

Jedná se o pálené jíly nebo lupky. Všechna ostřiva tohoto druhu se vyznačují tím, že byla vystavena účinku vysokého žáru při výpalu, který je tepelně stabilizoval a dal vzniknout různému množství mullitu jakožto stabilní sloučenině mezi Al_2O_3 a SiO_2 v žáru.

Vypalují se na teplotu 1000 °C až 1400 °C. Druhým výpalem v nich nenastávají žádné podstatné fyzikálněchemické změny.

Mullit svojí vysokou žárovzdorností, odolností proti změnám teploty, působení chemických činidel apod. představuje žádoucí složku keramického střepu. Chemicky jsou tato ostřiva složena v podstatě z SiO_2 a Al_2O_3 v molárním poměru větším než 2:1.

Protože výchozí surovinou pro tato pálená ostřiva jsou směsi, obsahující v převážné míře jílovité suroviny či jíly, bývají také označovány jako ostřiva šamotová. V užším slova smyslu přísluší označení šamot každému pálenému jílu nebo hlíně. Do této skupiny ostřiv zařazujeme šamot získaný pálením lupků nebo jílu na teplotu 1200 °C až 1400 °C, pak nízko pálený šamot, získaný z jílu pálením do teploty 950 °C. U obyčejného šamotu je důležité, aby jeho nasákavost nepřekročila přezkoušenou mez. Tento požadavek nasákavosti odpadá u nízko páleného šamotu. Jde prakticky o dehydroxylované jíly nebo hlíny, které si zachovaly lepší reaktivnost ve směsi, a tak poskytují pevné střepy. Nevýhodou je relativně větší smrštění pálením. [1][2][3]

Šamot je prakticky kalcinovaný kaolín, drcený a mletý na požadovanou velikost zrn. Kalcinace se provádí např. v rotační peci na teplotu až 1380 °C. Častým ostřivem je pálený lupek (jílovec). Lupek se kalcinuje v rotačních nebo šachtových pecích minimálně na teplotu 1200 °C. Hmotnostní nasákavost takto páleného lupku dosahuje hodnot 0 % až 5 %. Výpal probíhá několik měsíců (až šest) s dlouhodobou výdrží na 1000 °C. Takto pálený lupek má nasákavost hmotnostní v rozsahu 0 % až 14 %, v průměru 8 %. [5]

- Výměty z vlastní výroby

Jedná se o vhodně složené střepy z keramické výroby, nebo výměty z ostatních výrob, např. porcelánové střepy.

Pro konkrétní použití se hodnotí podle nasákavosti, která definuje pórovitost ostřiva. Výměty se musí rozmělnit na potřebnou velikost zrna podle rozměrů výtvořků nebo výlisků a podle způsobu vytváření výrobků.

Použití zlomků z vlastní výroby má své výhody v tom, že jejich chemická a mineralogická skladba odpovídá skladbě vyráběného střepu. Avšak jejich zdroj bývá při správné technologii výroby omezený, poněvadž není smyslem vyrábět odpad. [1][2][3]

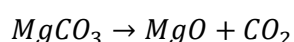
- Korund

Z chemického hlediska se jedná o $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Surovina je bílý nebo červený korund. Používá se pro korundové výrobky nebo je přidáván do různých dalších keramických směsí, jako např. do kameniny. Poskytuje zejména vysokou odolnost proti vysoké teplotě, příznivé mechanické vlastnosti apod. Používá se také u technického a elektrotechnického porcelánu. [1][2][3]

- Magnezitový slínek

Vypaluje se do slinutí na teplotu 1600 °C až 1800 °C. Jedná se v podstatě o MgO, tedy periklas. Získává se vypálením magnezitu do slinutí. Vyznačuje se vysokou odolností a únosností vůči žáru. Dobře odolává účinkům zásaditých látek v žáru. [1][3]

Je důležitou surovinou při výrobě žárovzdorných materiálů a hořečnaté keramiky. Ložiska krystalického magnezitu jsou často vázána na horniny bohaté na hořčík. Krystalický magnezit vzniká v hydrotermálních podmínkách přínosem hořčíku do uhličitánových hornin. Celistvý magnezit vzniká oxidem uhličitým do hadců a je hydrotermálního nebo zvětrávacího původu. Může být také původu sedimentárního. Při výpalu se rozkládá na oxid hořečnatý a oxid uhličitý podle rovnice:



Jedná se o endotermní reakci. [5]

- Dolomitový slínek

Dolomit vypálený do slinutí na 1800 °C. Z chemického hlediska se jedná v podstatě o CaO-MgO. Je základem výroby dolomitických žárovzdornin. [1][3]

- Slinutý mullit

Neboli sintermullit. Z chemického hlediska se jedná o $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Používaný k přípravě mullitových a mullitokorundových výrobků. [1]

- Žárovzdorné oxidy

Jedná se zejména o ZrO_2 , BeO a CaO . Slouží k přípravě speciálních žárovzdornin. [3]

- Neoxidické sloučeniny

Jedná se o karbidy (např. SiC), bority a silicity. Používají se u speciálních žárovzdorných výrobků. [3]

- Uhlíková ostřiva

Příkladem je tuha nebo koks. Uplatňují se rovněž u žárovzdorných výrobků. [3]

- Speciální sloučeniny pro elektrotechnickou keramiku

Jedná se např. o titanáty, ferrity apod. [3]

- Cordieritové ostřivo

Používá se pro výrobky, u nichž se vyžaduje zvýšená odolnost proti náhlým změnám teploty. Je připravováno ze směsi mletého mastku s plaveným kaolinem nebo vysoce kaolinitickým jílem a s oxidem hlinitým při teplotě výpalu $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Taková směs může např. obsahovat 12,8 % Al_2O_3 , 49,9 % mastku a 39,3 % kaolinu Sedlec la (jedná se o hmotnostní procenta). Je třeba mít na paměti, že při teplotě $1460\text{ }^{\circ}\text{C}$ již probíhá inkongruentní tání a rozklad cordieritu. [5]

- PORO – drť

Nereaguje s ostatními složkami. Je to pórovitá žárovzdorná drť, která vzniká kalcinací směsi žárovzdorných pórovinových jíků s organickými přísadami při teplotě $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Používá se jako plnivo do lehkých žárobetonových směsí.

Má velmi dobré tepelně izolační vlastnosti až do teploty $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Může být také použita jako ostřivo např. do elektroporcelánových směsí. [5]

c. Ostatní přírodní suroviny pro jemnou keramiku

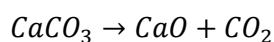
Do této skupiny jsou zařazeny některé neplastické materiály, které nelze jednoznačně zařadit ani do skupiny taviv, ani mezi ostřiva. Jedná se zejména o sloučeniny vápenaté, které se používají do některých keramických hmot a lazur, a sloučeniny hořčíku, tedy především mastek. Ty se v některých případech přidávají v malém množství jako taviva, nejčastěji však tvoří základ hmot používaných v elektrotechnické keramice.

Jako suroviny vnášející do hmot oxidy alkalických zemin (CaO a MgO) se nejčastěji používají jejich karbonáty, tedy vápenec, dolomit a magnezit. Méně často fosfáty, jako apatit nebo kostní moučka.

Uplatňují se netradiční vápenaté a hořečnaté suroviny, např. wollastonit a také diopsid ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$). S výhodou se používají zejména do nízkotajících glazur a k výrobě bělostřepé póroviny. Jejich výhodou je, že při zahřívání neuvolňují oxid uhličitý. [2]

▪ Vápenec

Vápenec je hornina sedimentárního původu s převažujícím obsahem uhličitanu vápenatého, tzv. kalcitu CaCO_3 . Pro keramické účely se využívá většinou mletý vápenec s vysokým obsahem kalcitu se zrnitostí pod 1 mm a s nízkým obsahem příměsí, zejména FeO_3 . Při výpalu probíhá rozklad kalcitu podle rovnice:

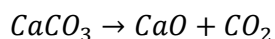
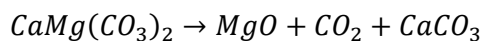


Jedná se o endotermní reakci spojenou s úbytkem hmotnosti (čistý kalcit má ztrátu žíháním 44 hmotn. %) a zmenšením objemu o cca 1,6 %. [5]

▪ Dolomit

Používá se jako ostřivo při výrobě obkladaček. Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ je podvojným uhličitanem vápenato-hořečnatého, sedimentárního původu podobně jako vápenec, obsahuje však většinou více Fe_2O_3 než je tomu u vápence.

Při výpalu se dolomit rozkládá postupně. Nejdříve se rozloží uhličitan hořečnatý a následuje rozklad uhličitanu vápenatého. Obě reakce jsou endotermní a probíhají podle rovnic:



[1][5]

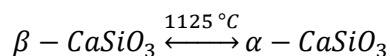
- Wollastonit

Používá se jako ostřívo při výrobě obkladaček. Z chemického hlediska se jedná o $CaO \cdot SiO_2$. Wollastonit, křemičitan vápenatý, β - $CaSiO_3$, se vyskytuje v relativně vzácných ložiscích většinou kontaktního původu vzniklých reakcí vápence s vyvřelou horninou (např. s granitem). Světově významná ložiska wollastonitu jsou v Indii, Mexiku a v USA. V Evropě je rozsáhlejší ložisko s průmyslovou těžbou pouze ve Finsku.

U přírodního wollastonitu se oceňuje jeho bílá barva, nízká vlhkost (max 4 %) a výchozí tvar krystalů, který usnadňuje lisování směsí.

Při výpalu až do teploty tání nedochází k jeho rozkladu. Neuvolňuje se z něj žádná plynná fáze, kromě případné vlhkosti v počátečních fázích výpalu.

Přírodní wollastonit se vyskytuje jako nízkoteplotní forma wollastonitu, která se při výpalu přeměňuje nevratně na pseudowollastonit. [1][5]



V keramickém průmyslu se přírodní wollastonit používá při výrobě obkladaček a glazur. Wollastonit se také připravuje synteticky, často za současného využití vhodných druhotných nebo odpadních surovin.

Syntéza wollastonitu je založena na poznatku, že nejstabilnější fází ve směsích o molárním poměru $CaO : SiO_2 \leq 1$ je β - $CaSiO_3$.

Postupy přípravy syntetického wollastonitu jsou následující:

- Reakce v pevném stavu či reakce s účastí kapalné fáze,
- tavení a následná krystalizace,
- srážení nejméně jedné složky z roztoku,
- hydrotermální syntéza.

[1][5]

- Mastek

Z chemického hlediska se jedná o dihydroxotetrakřemičitan trihořečnatý a jeho základní složení je dáno vzorcem $3 \text{ MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. V keramickém průmyslu se mastek používá převážně k výrobě speciálních druhů elektrotechnické keramiky. [2]

- Kalcit

Je používán jako ostřivo při výrobě obkladaček. Vznikl ze schránek mořských živočichů, vysrážením z vod a z hydrotermálních roztoků. Složení kalcitu je uhličitan vápenatý. [1][7]

d. Odpadní látky používané jako ostřivo i jako lehčivo

- Uhlýný prach, briketová drť

Mohou poskytovat až 80 % tepla potřebného k výpalu výrobků. Zvyšují pórovitost a tím snižují pevnost výrobků. [4]

- Škvára – popel z průmyslových roštových topenišť

Vyžaduje před použitím rozemletí. Obsahuje spalitelné látky, a přesto někdy zvyšuje pevnost výrobků. Škvára a popel je výhodnějším ostřivem než křemenný písek, omezuje tvorbu textury výlisků. [4]

- Popílek z elektrofiltrů

Má velmi jemné zrnění, což omezuje jeho ostřicí schopnost. Zvyšuje však pevnost výrobků. [4]

- Skelné střepy

Musí být jemně rozemleté, aby působily jako ostřivo i při nízké vypalovací teplotě. Zvyšují pevnost výrobků. [4]

- Odpady z výroby skelných a minerálních vláken

Působí jako ostřivo, snižují množství rozdělovací vody, vyztužují výlisky, výsušky i vypálený střep, a tím zvyšují pevnost výrobků. [4]

- Vápencové odpady

Vápencové odpady mají jemnější zrnění, snižují smrštění sušením i pálením, zvyšují pevnost výrobků, zesvětlují barvu střepu a vzhledem k endotermické reakci rozkladu CaCO_3 zvyšují spotřebu tepla při výpalu.

Jsou pórotvornou látkou (lehčivem) a částečně mohou nahradit pěnový polystyren při výrobě pórobetonu. [4]

- Metalurgické strusky

Musí být rozemleté, působí jako ostřivo, ale jsou velmi abrasivní, kvůli opotřeбенí pracovních ploch strojů. Jejich použití v cihlářství je omezené. [4]

- Kaly z galvanizace a při emailování

Musí být odvodňovány na obsah vody asi 50 %. Často obsahují barvící a toxické látky, takže jejich použití naráží na hygienická a ekologická omezení. [4]

C. Zkoušky prováděné na kamenivech

a. Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva dle ČSN EN 1097-3

Zkušební metoda se používá pro přírodní a umělá kamenivo až do maximálního zrna 63 mm.

▪ Podstata zkoušky

Zjistí se hmotnost vysušeného kameniva v odměrné nádobě a vypočte se sypaná hmotnost volně sypaného kameniva. Mezerovitost v procentech se vypočte ze sypané hmotnosti volně sypaného kameniva a objemové hmotnosti zrn kameniva.

▪ Zkušební zařízení

- Vodotěsná válcová nádoba. Minimální objemy nádoby jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 1. Nejmenší objem nádoby v závislosti na zrnění kameniva

| Horní zrno kameniva (D) [mm] | Objem nádoby [l] |
|---|-------------------------|
| do 4 | 1,0 |
| do 16 | 5,0 |
| do 31,5 | 10,0 |
| do 63 | 20,0 |

- váhy – dostatečné kapacity, s přesností 0,1 % hmotnosti zkušební navážky,
- lopatky a lžíce přiměřené velikosti,
- pravítko ocelové,
- teploměr,
- sušárna,
- skleněná deska – dostatečně velká k přikrytí nádoby.

- Příprava dílčích navážek

Tři dílčí navážky se získávají v souladu s ČSN EN 932-2. Vzorek se vysuší při teplotě $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Každá dílčí navážka musí mít 120 % až 150 % hmotností potřebné pro naplnění nádoby.

U pórovitého kameniva, pokud je to vhodné, nechají se dílčí navážky po vysušení při teplotě $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ v prostředí o teplotě $23 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti $50 \pm 10 \text{ } \%$.

- Zkušební postup

Zváží se prázdná, suchá a čistá nádoba. Hodnota se označí m_1 . Nádoba se umístí na vodorovnou plochu a s použitím lopatky se přeplní kamenivem. V žádném případě nesmí být konec lopatky výše než 50 mm nad horním okrajem nádoby. Odstraní se přebytečné kamenivo nad horním okrajem nádoby, přičemž je nutno zabránit segregaci kameniva na povrchu. Povrch kameniva se zarovná pravítkem tak, aby nedošlo ke zhutnění jakéhokoliv části povrchu. Zváží se naplněná nádoba a zaznamená se její hmotnost na 0,1 % a označení hodnoty je m_2 . Vyzkouší se tři dílčí navážky.

- Výpočet a vyjádření výsledků

Sypná hmotnost volně sypaného kameniva se vypočte pro každou dílčí navážku podle následující vztahu:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \left[\frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} \right]$$

ρ_b – sypná hmotnost volně sypaného kameniva $\left[\frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} \right]$

m_2 – hmotnost nádoby se zkušební navážkou [kg]

m_1 – hmotnost prázdné nádoby [kg]

V – objem nádoby [l]

Zaznamená se sypná hmotnost volně sypaného kameniva jako průměr ze tří hodnot zaokrouhlené na dvě desetinná místa u hutného kameniva a na tři desetinná místa u pórovitého kameniva.

Mezerovitost v v procentech podílu objemu mezer mezi zrny kameniva v nádobě se vypočte podle následujícího vztahu:

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p} \cdot 100 \quad [\%]$$

v – mezerovitost [%]

ρ_b – sypná hmotnost volně sypaného kameniva $\left[\frac{Mg}{m^3}\right]$

ρ_p – objemová hmotnost zrn kameniva vysušených v sušárně $\left[\frac{Mg}{m^3}\right]$

[23]

b. Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor dle ČSN EN 933-1

▪ Podstata zkoušky

Zkouška se sestává z roztržení a oddělení materiálu pomocí sady sít do několika zrnitostních podílů s klesající velikostí částic. Velikost otvorů sít a počet sít jsou voleny podle druhu vzorku a požadované přesnosti. Hmotnost částic zachycených na jednotlivých sítích se uvádí ve vztahu k počáteční hmotnosti materiálu. Souhrnný propad jednotlivými sítí se uvádí v procentech číselným způsobem, a pokud se požaduje, tak v grafické podobě.

▪ Zkušební zařízení

- Zkušební síta, s otvory podle ČSN EN 933-2,
- pevně lícující víko a dno sít,
- sušárna,
- prací zařízení,
- váhy, s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti zkušební navážky,
- nádoby, štětce.

- Příprava zkušebních navážek

Laboratorní vzorek se musí zmenšit podle ČSN EN 932-2.

Tabulka 2. Minimální velikost zkušebních navážek na síťový rozbor kameniva

| Velikost kameniva D (maximum) [mm] | Hmotnost kameniva [kg] | Objem pórovitého kameniva [l] |
|---|-----------------------------------|--|
| 90 | 80 | - |
| 32 | 10 | 2,1 |
| 16 | 2,6 | 1,7 |
| 8 | 0,6 | 0,8 |
| ≤ 4 | 0,2 | 0,3 |

Zmenšením vzorku se musí vytvořit zkušební navážka o velikosti větší než minimální, ale ne přesně předem určené hodnoty.

Zkušební navážka se vysuší při teplotě 110 ± 5 °C do ustálené hmotnosti. Po vychladnutí se zváží a hmotnost se zaznamená jako M_1 .

- Zkušební postup pro praní

Zkušební navážka se vloží do nádoby a přidá se dostatečné množství vody, aby byla zkušební navážka pod vodou. Vzorek se dostatečnou silou promíchá, aby se dosáhlo úplného oddělení a uvolnění jemných částic. Na navlhčené síto 0,063 mm se umístí ochranné síto, např. síto 1 mm nebo 2 mm. Obsah nádoby s rozmíchanou zkušební navážkou se vylije na nachystaná síta a promývá se vodou, dokud neteče čistá voda. Zbytek zachycený na sítě 0,063 mm se vysuší do ustálené hmotnosti při teplotě 110 ± 5 °C. Ponechá se vychladnout, zváží se a zaznamená se jako M_2 .

- Zkušební postup pro prosévání

Vypraný a vysušený materiál se vysype na sloupec sít. Sloupcem se ručně nebo mechanicky třese. Potom se síta jedno po druhém odebírají, začíná se sítem s největšími otvory. Prosévání se musí považovat za ukončené, když další prosévání nevede ke změně hmotnosti zachyceného materiálu na jednotlivém síti větší než 1 % hmotnosti. Zváží se zachycený materiál na sítu s otvory největší

velikosti a jeho hmotnost se zaznamená jako R_n . Vytříděný materiál zbylý na dně, pokud je nějaký, se zváží a jeho hmotnost se zaznamená jako P .

- Výpočet a vyjádření výsledků

Vypočítá se zachycená hmotnost na každém síti jako procento původní suché hmotnosti M_1 . Vypočítá se souhrnné procento propadů každým sítem z původní suché hmotnosti až k sítu 0,063 mm, které se vyloučí. Vypočítá se procento jemných částic f propadlých sítem 0,063 mm podle následující rovnice:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$$

M_1 – suchá hmotnost zkušební navážky [kg]

M_2 – suchá hmotnost zbytku zachyceného na síti 0,063 mm [kg]

P – je hmotnost vytříděného materiálu zbylého na dně [kg]

[24]

c. Stanovení odporu při stlačování – dle ČSN EN 13055

- Podstata zkoušky

Připravený vzorek pórovitého kameniva se vloží do specifikovaného ocelového válce a zhutní se vibrací. Kamenivo se ve válci stlačí na danou vzdálenost, přičemž se změří síla potřebná ke stlačení, která vyjadřuje odpor pórovitého kameniva při stlačování. Jsou stanoveny dva zkušební postupy. Postup 1 se používá pro pórovité kamenivo se zrny od 4 mm do 22 mm a se sypanou hmotností nad 150 kg/m³. Postup 2 se používá pro pórovité kamenivo se sypanou hmotností 150 kg/m³ a menší. [42]

- Zkušební zařízení
 - Ocelový zkušební válec s pístem,
 - hydraulický lis,

- vibrační stůl,
- ocelové pravítko, lopatka,
- sušárna.

▪ Zkušební postup 1

Vzorky se musí odebrat podle ČSN EN 932-1 a vysušit do ustálené hmotnosti podle ČSN EN 1097-5. Po odstranění nadsítného a podsítného se vzorky rozdělí podle ČSN EN 933-2 na tři dílčí navážky o objemu 1,2 až 1,5 l.

Válec s nástavcem se umístí na vibrační stůl, do válce se nasype dílčí navážka a vibruje se 6 až 120 s. Z válce se odstraní nástavec a s použitím ocelového pravítka se povrch pórovitého kameniva urovná. Pak se válec vibruje dvakrát 3 až 60 s a před druhým vibrováním se válec doplní. Na válec se nasadí kroužek pro nastavení výšky a na horní povrch zhutněného pórovitého kameniva se opatrně umístí píst, nastaví se vzdálenost mezi dotykovým kroužkem a horní obrubou na 20 mm a celá sestava se vloží do hydraulického lisu. Na píst se působí takovou silou, aby se dosáhlo stlačení kameniva ve válci o 20 mm během asi 100 s a vynaložená síla v newtonech se zaznamená. Postup se provede i pro dvě další navážky. [42]

▪ Postup 2

Válec se umístí na vibrační stůl a pomocí lopatky se opatrně, aby se minimalizovala segregace, přeplní dílčí navážkou. Po 3 s vibrace se na zkušební válec nasadí nástavec a pórovité kamenivo se doplní tak, aby zaplnilo i prostor nástavce, a vibruje se další 3 s.

Nástavec se odstraní, povrch pórovitého kameniva se zarovná a celá soustava se vloží do hydraulického lisu. Na píst se působí takovou silou, aby se dosáhlo stlačení kameniva ve válci o 50 mm během asi 100 s a vynaložená síla v newtonech se zaznamená. [42]

- Výpočet a vyjádření výsledků

Odpor při stlačování pro každou dílčí navážku se vypočte podle vztahu:

$$C_a \text{ nebo } C_p = \frac{L + F}{A} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

C_a – odpor při stlačování stanovení podle postupu 1, $\left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$

C_p – odpor při stlačování stanovení podle postupu 2, $\left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$

L – síla vyvinutá hmotností pístu $[N]$

F – potřebná síla ke stlačení $[N]$

A – plocha pístu $[\text{mm}^2]$

Vypočte se průměrná hodnota ze tří výsledků a výsledek se uvede nejméně na dvě platná čísla. [42]

d. Stanovení nasákavosti drobného pórovitého kameniva – dle ČSN EN 13055

Jedná se informativní přílohu normy ČSN EN 13055 Pórovité kamenivo.

Tato informativní příloha popisuje metodu pro stanovení nasákavosti drobného pórovitého kameniva, která není obsažena v ČSN EN 1097-6.

- Podstata zkoušky

Dílčí navážka drobného pórovitého kameniva se vysuší, smíchá se s vodou, přefiltruje se v Büchnerově nálevce a pro získání suchého povrchu se použij vakuová pumpa. [42]

- Zkušební zařízení

- Váhy, sušárna, stopky, skleněná tyčinka, tlakoměr a spojovací hadice, filtrační papír o průměru 150 mm, vakuová pumpa schopná udržet podtlak 50 až 100 mbar.

- Büchnerova nálevka,
- Erlenmeierova baňka s hrdlem vhodným pro Büchnerovu nálevku,
- Příprava dílčích navážek

Odběr vzorků musí být proveden podle ČSN EN 932-1 a zmenšování vzorků podle ČSN EN 932-2. Připraví se dvě dílčí navážky kameniva o objemu 400 až 600 ml. Dílčí navážky se vysuší podle ČSN EN 1097-5. [42]

- Zkušební postup

Filtrační papír se vloží do Büchnerovy nálevky a namočí se vodou. Zváží se nálevka s mokrým filtračním papírem. Dílčí navážka se přemístí do nálevky, nálevka s navážkou se zváží a hmotnost se zaznamená.

Büchnerova nálevka s navážkou se naplní vodou. Po naplnění nálevky s vodou se spustí stopky a dílčí navážka se nechá nasakovat po dobu 5 min. Po uplynutí doby se spustí vakuové čerpadlo a 5 min se odsává voda. Potom se Büchnerova nálevka s filtračním papírem nasyceným vodou a vodou nasáklou dílčí navážkou s osušeným povrchem zváží s přesností na 0,1 g. Postup se opakuje s druhou dílčí navážkou. [42]

- Výpočet a vyjádření výsledků

$$WA(t) = \frac{(M_3(t) - M_2)}{(M_2 - M_1)} \cdot 100 \quad [\%]$$

$WA_{(t)}$ – nasákavost za čas t , [%]

M_1 – hmotnost Büchnerovy nálevky s mokrým filtračním papírem [g]

M_2 - hmotnost Büchnerovy nálevky s mokrým filtračním papírem
a suchou dílčí navážkou [g]

$M_{3(t)}$ – hmotnost Büchnerovy nálevky s mokrým filtračním papírem
a vodou nasáklou dílčí navážkou, s nasakovacím časem (t),
a osušeným povrchem [g]

Vypočítá se průměrná hodnota ze dvou individuálních hodnot nasákavosti za stejný nasakovací čas. Průměrná hodnota se vyjádří s přesností na 1 %. [42]

D. Dosavadní publikované pokusy o výrobu nebo využití uměle vyráběných ostřiv

a. Bezprašné sypké ostřivo se sníženou nasákavostí pro keramickou a cihlářskou výrobu (1976)

Předmětem vynálezu je bezprašné sypké ostřivo se sníženou nasákavostí pro keramickou a cihlářskou výrobu na bázi jemně zrnitých nebo umělých tvrdých silikátových materiálů.

Nevýhody prašného ostřiva jsou odstraněny bezprašným sypkým ostřivem pro keramickou a cihlářskou výrobu na bázi jemně zrnitých přirozených nebo umělých silikátových materiálů, obsahujících prašnou, případně nasákavou složku tím, že obsahuje 2 % až 20 % topného oleje nebo sulfitového papírenského kalu, případně vodné roztoky a emulze petrochemického průmyslu, přičemž tyto látky jsou vázány na povrch zrn. [8]

▪ Příklad provedení 1

K výrobě lehčených zdících materiálů se používá bezprašné sypké ostřivo se sníženou nasákavostí, sestávající z 95 % popelovin z topenišť na práškové uhlí, obsahujících 2,5 % až 3,5 % spalitelných látek a 5 % topného mazutu nebo haldového oleje, který je odpadem při čištění použitých mazacích olejů.

Bezprašné ostřivo se mísí v poměru 25 % až 35 % sušiny a 65 % až 75 % sušiny přirozených jílovinových surovin. Směs se zpracovává plastickým způsobem a tažením na vakuovém lisu se vytváří lehčené zdící tvarovky, případně v poměru 10 % až 20 % sušiny a 80 % až 90 % sušiny jílovinových surovin se zpracovává na stropní konstrukční prvky. [8]

▪ Příklad provedení 2

K výrobě vysoce pevných zdících konstrukčních materiálů se používá ostřivo, sestávající z 4 % až 8 % topného mazutu a 92 % až 94 % tepelně zpracované suroviny upravené na zrnitost pod 4 mm. Ostřivo a jílovinová

surovina se mísí v poměru 20 % až 30 % sušiny ostřiva a 70 % až 80 % sušiny jílovinových surovin a zpracovává se plastickou cestou na zdící tvarovky. [8]

- Příklad provedení 3

K výrobě zdících materiálů se používá ostřivo, sestávající z 93 % až 98 % sušiny sypkých popelovin a 2 až 7 % sušiny sulfitových papírenských výluhů a papírenských kalů. Ostřivo se mísí v poměru 20 % až 40 % ostřiva a 60 % až 80 % sušiny jílovinových surovin. Směs se upravuje plastickým způsobem a zpracovává se na izolační prvky. [8]

b. Způsob výroby keramického ostřiva s vyšším obsahem kysličníku hlinitého (1979)

Vynález se týká výroby keramického ostřiva s vyšším obsahem oxidu hlinitého ze suspenze kaolínu nebo žárovzdorného jílu, za použití technického oxidu hlinitého jako látky zvyšující obsah oxidu hlinitého.

Podstata spočívá v tom, že kaolín, anebo žárovzdorný jíl se homogenizuje rozplavováním v suspenzi, přičemž se postupně přidává látka, zvyšující obsah oxidu hlinitého, a potom se suspenze zpracovává rozprachovým sušením na jemně granulovanou směs. Vzniklá vysocehlinitá granulovaná směs se poté dále zpracovává na keramické ostřivo vytvářením, dosušením, pálením, drcením a tříděním, čímž se získá vysocehlinité ostřivo. [25]

c. Spinelitické ostřivo (1995)

Vynález se týká složení spinelitického ostřiva a způsobu jeho výroby.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že spinelitické ostřivo obsahuje 12 % až 28 % hmot. MgO z velmi čistých oxidů, 68 % až 85 % hmot. Al_2O_3 z velmi čistých oxidů, 1 % až 7 % hmot. SiO_2 z plastického jílu kaolinitického typu a 0,001 % až 1,5 % hmot. doprovodných oxidických složek. Vytvarované polotovary se vypalují při teplotě 1500 °C až 1700 °C. Polotovary se zhotovují lisováním, nebo tažením.

Výhodou je nižší teplota, potřebná pro vypalování spinelitického ostřiva. Přidáním oxidu křemičitého ve formě plastické suroviny kaolinitického typu lze snížit teplotu vypalování na 1500 °C až 1700 °C.

Spinelitická ostřiva vyrobená podle vynálezu, jsou v kusové formě. Dále se melou v mlýnicích na různou zrnitost. V zrnité a mleté formě se používají k výrobě spinelitických tvarových staviv a žármonolitů a korundových tvarových staviv a žármonolitů se spinelitickou vazbou.

Spinelitické výrobky jsou použitelné do 1600 °C až 1700 °C a vynikají zejména vysokou odolností proti korozi taveninami a odolností proti náhlým změnám teplot. [9]

d. Žárovzdorné materiály Cordierite-mullite (1995)

Tato studie si kladla za cíl připravit kordierit-mullitové kompozity, které budou použity jako žárovzdorné materiály.

Mullit a kordierit byly přidávány v různých poměrech buď jako ostřivo nebo jako suroviny, čímž bylo dosaženo stechiometrického složení.

K dosažení požadovaného procenta mullitu v produktu bylo přidáno superstechiometrické množství oxidu hlinitého jako ostřivo nebo bauxit. Superstoichiometrické přidání zlepšilo fyzikální i mechanické vlastnosti, aniž by to ovlivnilo odolnost proti tepelným šokům. Je diskutován vliv přidaného procenta ostřiva na vlastnosti těla.

Nejlepších mechanických, tepelných a fyzikálních vlastností je dosaženo u těl obsahujících 50 % až 70 % ostřiva. [33]

e. „ekologické cihly“ vyrobené z jílu a znečišťujících látek z oceli (1996)

Výzkumný článek se zabývá použitím ocelového prachu aplikovaného formou neplastické suroviny do keramického těsta.

Více než 27 000 tun ocelového prachu obsahujícího Zn, Pb, Cd, Ni a Cr je každoročně generováno dvěma ocelárnami v Argentině. Odpad lze kvalifikovat

jako uhlíkový prach s nízkým obsahem zinku a jeho zpracování se řídí spíše ekologickými než ekonomickými hledisky. Cílem této práce bylo otestovat použití jílu ve formulaci keramického těsta, které by mohlo zahrnout ocelový prach a vyhovovalo environmentálním předpisům. Jakmile byly suroviny analyzovány, bylo v laboratoři připravené keramické těsto, které bylo následně podrobeno testu vyluhování EP-TOXIC. Keramické těsto vyhovělo této zkoušce.

Na základě těchto výsledků byl vyroben prototyp cihly obsahující 20 % ocelového prachu. Cihla splňuje standardní obchodní předpisy, které jsou inertní vůči testům vyluhování EP-TOXIC a úplným TCLP. Keramický proces má nízké emise nebezpečných plynů. Přidáním ocelového prachu se snižuje teplota vypalování a tím keramický proces splňuje požadavky recyklace EPA na likvidaci nebezpečného odpadu. [28]

f. Strukturální keramika vyrobená z hliněných a ocelových prachových znečišťujících látek (2011)

Odborný článek se zabývá aplikací prachu z elektrické obloukové pece do keramického těsta v podobě neplastické látky.

Prach z elektrické obloukové pece je vedlejší produkt procesu výroby oceli a obsahuje velké množství železa a zinku a významná množství olova, chrómu a kadmia. Recyklace kovů však není vždy ekonomicky proveditelná, zejména kvůli složitému mineralogickému složení tohoto materiálu. V této studii je uvedena aplikace tohoto materiálu.

Keramika byla vyráběna s hlínou a proměnlivým množstvím ocelového prachu, která se vypalovala na teplotu 800 °C až 1100 °C. Byl zkoumán vliv složení a teploty zpracování na mechanickou pevnost, lineární smrštění, absorpci vody, zdánlivou hustotu a pevnost v ohybu a loužení kovů keramických vzorků. Směs jílu s až 20 % prachu poskytla keramiku s omezeným rizikem kontaminace kovem a může se tedy použít pro výrobu strukturální keramiky. [29]

g. Způsob získávání bílého kalcinovaného plnidla, ostřiva nebo lehčiva s vysokou odrazivostí (2013)

Cílem tohoto vynálezu je zvýšení odrazivosti produktu silikátové suroviny jako bílého plnidla, obsahující jílovinu se základním minerálem kaolinitem, v podobě cihel, tvárnic, granulí, nudliček, kousků, placek a podobně. Předmětem vynálezu je způsob získávání bílého kalcinovaného plnidla, ostřiva nebo lehčiva s vysokou odrazivostí.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že silikátová surovina obsahující jílovinu se základním minerálem kaolinitem se v měkkém, nepáleném stavu upraví drcením nebo tříděním na požadovanou granulometrii. Následně se kalcinuje při teplotě 500 °C až 1500 °C a po kalcinaci se pouze třídí a/nebo směšuje na požadovanou granulometrii, která se již nedrtí ani nemele, čímž se zvyšuje její odrazivost.

Vstupní silikátová surovina v nepáleném stavu, upravovaná za mokra nebo za sucha o granulometrii s velikostí částic až do 50 mm má po drcení nebo třídění nepálenou zrnitostní frakci do 2 mm až 5 mm.

Vstupní silikátová surovina v nepáleném stavu má vlhkost od 0 % do 15 % hmot. a snížený obsah Fe_2O_3 a K_2O . [26]

h. Jílová keramika s obsahem opuky a cihlářského odpadu (2014)

Mikrostruktura jílové keramiky vypalované při 1050 °C s přidanou opukou a keramickým odpadem, byla analyzována rentgenovou difrakcí a skenovací elektronovou mikroskopií. Cílem bylo zhodnotit nejen vyvinuté krystalografické fáze, ale také podmínky keramického slinování spojené s přidáním keramického odpadu a opuky. Výsledky XRD ukázaly přítomnost křemene a živce přítomného v surovinách, jakož i hematit a mullit transformovaný při vysoké teplotě z prekurzorových jílů. Analýza skenovací elektronovou mikroskopií odhalila konsolidovanou keramickou strukturu, ve které byl slinovací proces účinný při snižování počátečního prostoru mezi částicemi a zlepšování strukturální kompaktnosti. [31]

i. Geopolymer vyrobený z odpadních pálených cihel a granulovanou vysokopecní struskou (2016)

V této studii byly studovány odpadové hliněné cihly a účinky přidání dalšího průmyslového vedlejšího produktu známého jako granulovaná vysokopecní struska na vlastnosti finálních produktů.

Granulovaná vysokopecní struska se při výrobě geopolymérů používá jako náhrada 20 %, 40 %, 60 % a 80 % za vypálené hliněné cihly (ostřivo). Zahrnutí strusky vede ke zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností. Studie prokázala úspěšnou metodu proveditelnosti procesu recyklace a valorizace dvou průmyslových vedlejších produktů a převádí je na cenné geopolymerní produkty. Geopolymerní produkty je možné ihned použít. [30]

j. Umělý kámen vyrobený pomocí zbytků cihel a lomového prachu v epoxidové matrici (2018)

Jedná se o výzkum výroby umělého kamene ze směsi lomového prachu a šamotu. Tyto suroviny pocházejí z oblasti Rio de Janeiro v Brazílii, kde tyto materiály jsou hojně nesprávně likvidovány, zejména ve vztahu k životního prostředí.

Z výzkumu vyplývá, že nejlepší směs pro smáčení byla podíl 48 % hmotn. lomového prachu, 32 % hmotn. šamotu a 20 % hmotn. epoxidu pro vibrační zhutňování ve vakuové výrobě. Hustota kamene činí $2,12 \text{ g/cm}^3$, nasákavost činila 0,18 % a mechanická pevnost 30 MPa. Fraktografická analýza odhalila dobrou adhezi mezi zbytky částic a epoxidovou matricí. Avšak mikrostrukturální nedostatky, jako jsou póry, dutiny a mikrotrhliny, které přispívají ke snížení pevnosti ve srovnání s čistou epoxidovou pryskyřicí. [27]

k. Využití keramického kalu při výrobě kameninových hliněných trubek (2018)

Ukázalo se, že použití různých odpadů při výrobě keramických výrobků je výhodné jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska životního prostředí. V této

studii bylo zkoumáno současné opětovné použití odpadu z keramického kalu (od 0 % do 6,2 %) a skleněných střepů (od 0 % do 10 %) při výrobě kameninových jílových trubek. Vzorky byly lisovány při 15 MPa, sušeny a následně vypalovány při třech různých teplotách (1050 °C, 1150 °C a 1250 °C). Doba pálení byla 1 až 3 hodiny. Dospělo se k závěru, že je možné připravit ekonomický recept zahrnující použití 6,2 % kalu (suchá fáze) a 5 % střepů s jílem a přídavkem ostřiva. Vypálení probíhalo jednu hodinu při 1050 °C.

Vyrobené vypálené výrobky poskytly pevnost v ohybu, která přesáhla minimální požadavek na jakoukoli velikost trubek uložených v půdě. Navrhované složení využívá odpad znečišťující životní prostředí (kal) a odpad rozbitého skla a zahrnuje vypalování po dobu jedné hodiny při teplotě asi o 200 °C nižší, než je běžně používané. [32]

E. Prodávaná uměle vyráběná ostřiva

a. Nabalox

Nabalox vyrábí firma Nabaltec, která je jedním z předních světových dodavatelů funkčních plniv a speciálních oxidů. Jejich výrobky lze úspěšně aplikovat do keramiky jako umělý druh ostřiva.

NABALOX – jedná se o oxidy hliníku, vyznačuje se vysokou chemickou čistotou a velmi dobrou odolností proti oděru. Tyto speciální oxidy se používají v keramických komponentech a u průmyslu žárovzdorných, keramických a leštících prostředků. Nabízí přes 70 oxidů hliníku, které se liší svým chemickým složením, měrným povrchem a distribucí zrn. [17]

b. Virginia Kyanite

Virginia Kyanite je výrobek firmy Kyanite Mining Corporation. Virginia Kyanite je průmyslový minerální koncentrát, který obsahuje 56 % až 61 % hmot. oxidu hlinitého. Kyanit se prodává ve formě granulí nebo prášku a může být dodáván v různých velikostech zrn, v rozmezí od velikosti 425 mikronů do 45 mikronů. [18]

c. Virginia mullite

Opět se jedná o výrobek firmy Kyanite Mining Corporation. Virginia Kyanite se převádí na mullit kalcinací nad 1450 °C v rotační peci. Výsledný produkt obsahuje asi 80 % mullitu, 11 % jemně dispergovaného amorfního oxidu křemičitého, 7 % křemene a méně než 1 % cristobalitu. Produkt má odlišný tvar částic a méně nečistot než mullit vytvořený žíháním hlinitých minerálů. Produkt obsahuje 56 % až 61 % oxidu hlinitého. [18]

d. Dense Corundum

Čínská společnost Henan Cunse Refractory vyrábí takzvaný hustý korund. Jedná se o nový druh vysoce čisté žáruvzdorné suroviny se složkou $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ jako hlavní krystalickou fází. Základní surovina se smíchá, taví v elektrické obloukové peci, a nakonec se ochladí.

Jeho vlastnosti jsou:

- Vysoké teploty tání,
- nízká zdánlivá pórovitost,
- vynikající odolnost proti oděru,
- ustálená objemová hustota a odolnost proti tepelným nárazům.

Hustý korund je vhodným materiálem pro výrobu vysoce výkonných monolitických a tvarovaných žáruvzdorných materiálů, které se používají v železářském a ocelářském, cementářském, keramickém, petrochemickém průmyslu. [19]

e. Cerabeads

Cerabeads je umělý písek vyroben z mullitových krystalů s extrémně stabilní kvalitou. Vyrábí se spalováním sférických granulí, nikoli drcením. Zrna mají kulatou strukturu, což dělá směs velmi pevnou. Může se kombinovat s křemenným pískem.

Jeho výhody jsou následující:

- Stejné složení,
- stabilní distribuce zrna a propustnost vzduchu,
- vysoká žáruvzdornost, a to až 1825 °C,
- vysoká odolnost proti opotřebení, rozdrčení a tepelným šokům,
- malá tepelná roztažnost – vynikající rozměrová přesnost,
- vynikající tekutost a účinnost plnění díky sférickému stavu. [20][21]

f. LK – SAND

Jedná se o umělé ostřívo na bázi hlinitokřemičitanu vznikající vypalováním kaolinitického jílu. Ostřívo je ostrohranné, má sníženou nasákavost, které bylo dosaženo vhodným zásahem do výrobního procesu, který zahrnuje výpal, drcení, mletí a následné třídění na sítích. Charakteristickými parametry jsou Al_2O_3 41 %, SiO_2 55 %, Fe_2O_3 1,5 %, TiO_2 1,5 %. Nasákavost je menší než 3,5 %.

Díky jeho mletí a třídění se získá ostřívo s plynulou dilatační křivkou. [22]

F. Válcový mlýn

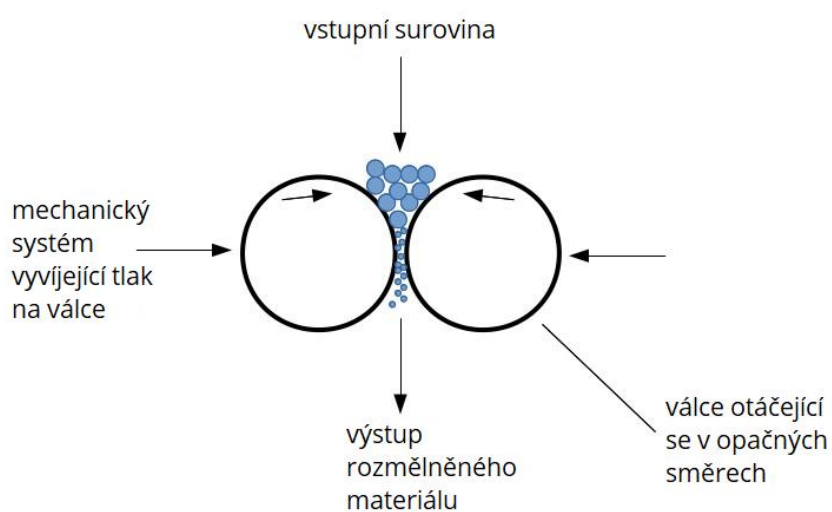
Válcový mlýn je forma lisovacího mlýna, která obsahuje jedno, dvě nebo tři válcové sestavy umístěné ve vodorovné poloze. Válce bývají v protilehlých párech. Používá se k drcení materiálu. Válce se otáčejí různými rychlostmi a procházející materiál je „stříhán“, když prochází mezerou mezi válci.

Pro získání požadované velikosti částic je třeba nastavit mezeru mezi válci a rychlostní rozdíl mezi nimi. Princip fungování válcového mlýna je vyobrazený na obr. č. 2.

▪ Výhody válcových mlýnů

- Surovina procházející válcovým mlýnem je rovnoměrnější, má méně jemných nebo naopak nadměrných částic,
- malý úbytek vlhkosti směsi,

- vytváří lepší pracovní podmínky díky nízké hladině hluku stroje a snížení prašnosti,
 - je energeticky úspornější než jiné stroje používané na drcení.
- Nevýhody válcovacího mlýna
- Není určen na vláknové suroviny, nebo na dvourozměrné výrobky, funguje nejlépe na snadno brousitelných materiálech,
 - Vyžaduje se ruční úprava válců, aby vyhovovala požadavkům na druh mletí.[14]



Obrázek 2. Princip funkce válcového mlýna [15]

4. Praktická část

Cílem praktické části bakalářské práce je navrhnout a v laboratorních podmínkách ověřit chování laboratorně vyrobeného granulátu vzniklého z cihelného brusného prachu na peletizačním talíři ve firmě Svoboda a syn, s. r. o.

Zjišťovalo se zejména chování plastického těsta s obsahem ostřiva (granulátu z cihelného brusného prachu) po průchodu válcovým mlýnem, tedy zejména změna granulometrie a tvaru ostřiva.

Po vypálení se zjišťovalo rozložení, tvar a změna granulometrie na vypáleném střepu. Dále se zjišťovala tepelná vodivost vypáleného střepu.

Výsledky byly porovnány s jiným druhem ostřiva, a to s křemenným pískem a lomovým kamenem o stejné frakci, jako byla frakce granulátu z cihelného brusného prachu.

Praktická část je rozdělena do čtyř etap, které na sebe úzce navazují.

A. Použité suroviny

a. Mletý kaolín Sedlec Ia

Kaolín Sedlec Ia je nejstarší produkt společnosti Sedlecký kaolín a. s. Vyrábí se od roku 1892. Původní použití bylo v porcelánové výrobě. Dobrá plastičnost v surovém stavu a vysoká stabilita v ohni se používají při výrobě keramických válců pro rychle vypalovací pece. Používá se také u výroby tužek, kde hraje významnou roli nízký obsah škodlivých látek a plasticita. Tato funkce je také důležitá pro používání v kosmetice.

Mineralogické složení použitého kaolínu je 91 % kaolinitu, 2 % křemene a asi 7 % minerálů slídy. Chemické složení použitého kaolínu je v tabulce č. 3. [36]

Použití kaolínu se zvolilo z důvodu jeho světlé barvy. Díky této vlastnosti je zřetelně vidět rozložení, změna tvaru a granulometrie ostřiva po průchodu válcovým mlýnem na vypálených cihelkách.

Tabulka 3. Chemické složení kaolínu Sedlec Ia - hmot. % [36]

| materiál | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | zž |
|-----------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------|------|------------------|-------------------|------|
| kaolín Sedlec Ia | 46.80 | 36.60 | 0.90 | 0.00 | 1.70 | 0.70 | 0.50 | 1,20 | | 13.2 |

zž – ztráta žíháním

b. Granulát z cihelného brusného prachu

Jedná se o uměle vytvořené kamenivo. V nynější době je vyvíjen ve výzkumném oddělení firmy Svoboda a syn, s. r. o.

Surovina pro výrobu granulátu je cihelný brusný prach, který pochází z cihelny Šlapanice, společnosti Wienerberger, s. r. o., který vzniká během broušení tvarovek podle ČSN EN 711-1 + A1 Specifikace zdicích prvků – Část 1: Pálené zdicí prvky.

Granulát se vyrábí peletizací na peletizačním talíři, navržený firmou Svoboda a syn, s. r. o. Jeho výroba je popsána v 1. etapě. Pro účely praktické části této bakalářské práce byl vyroben granulát frakce 1 mm až 4 mm z prosátého cihelného prachu frakce pod 1 mm.

c. Křemenný písek Žabčice

Pro účely ostřiva byl použit písek frakce 0–4 mm Žabčice. Jedná se o praný písek žluté barvy. Tento typ písku je vhodný zejména pro výrobu čerstvého betonu, malt, betonových výrobků, omítek, obalovaného kameniva apod. [37]

Dle zjištěných údajů, má písek Žabčice sypnou hmotnost 1350 kg/m³, objemovou hmotnost 2600 kg/m³ a nasákavost 0,23 %. [38]

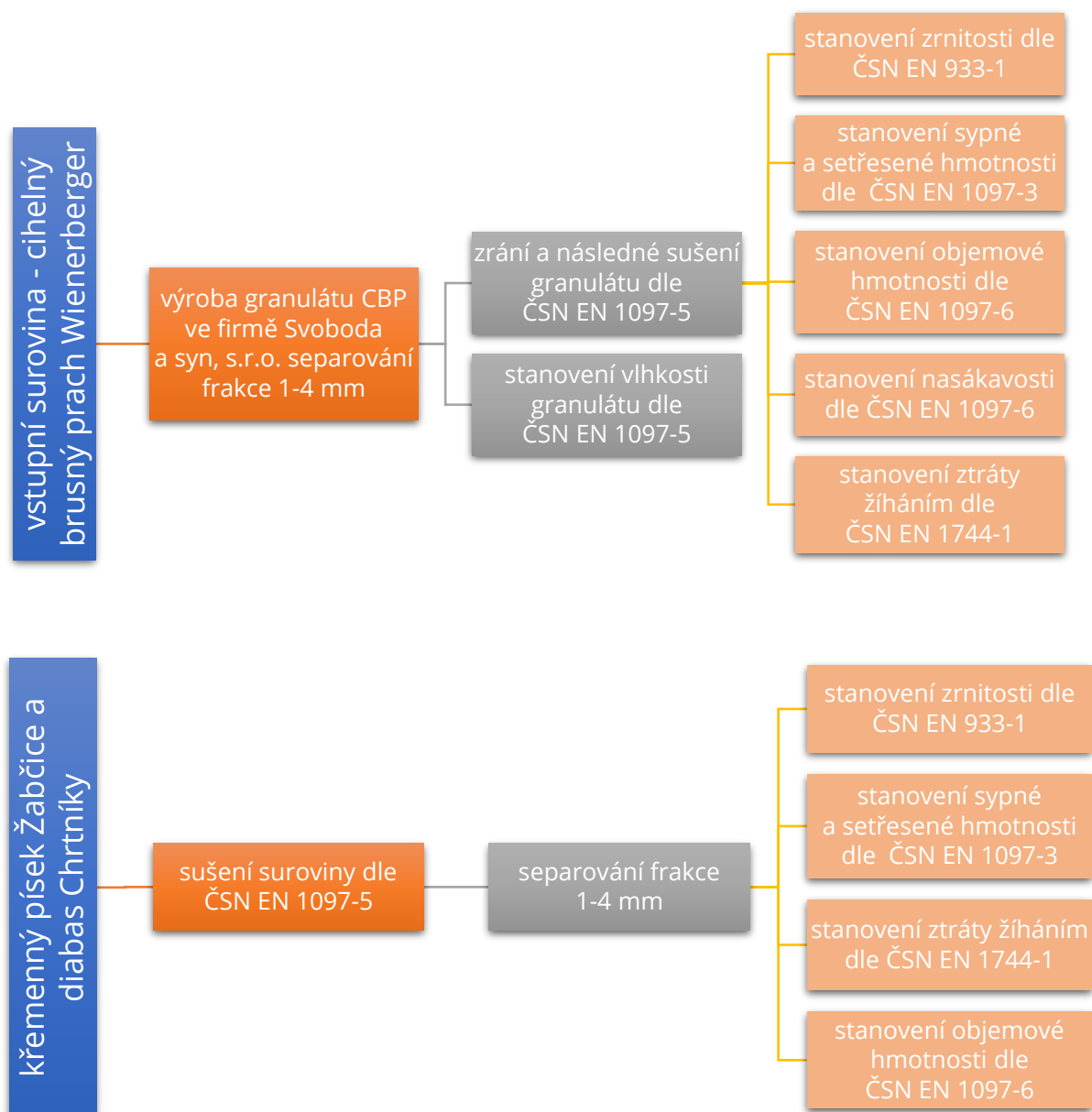
Pro účely ověření experimentu se separovala frakce 1-4 mm.

d. Lomový kámen – Diabas, Chrtníky

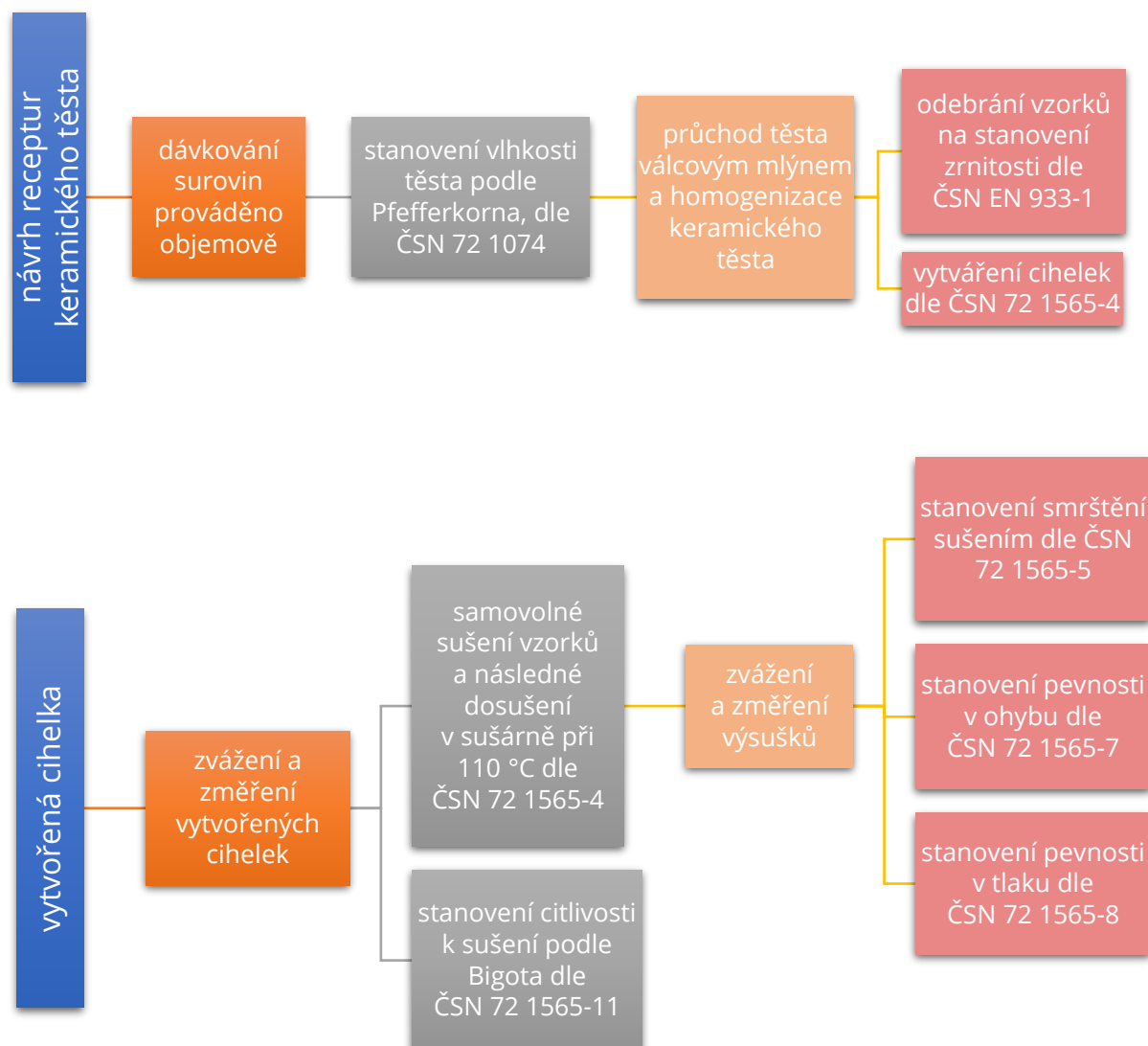
Jako další ostřivo byl zvolen kamenný odprašek, a to konkrétně diabas Chrtníky. Objemová hmotnost je 2862 kg/m³, sypná hmotnost 1400 kg/m³ a nasákavost 0,9 %. [39]

B. Návrh metodiky posuzování kompatibility cihlářských ostřiv

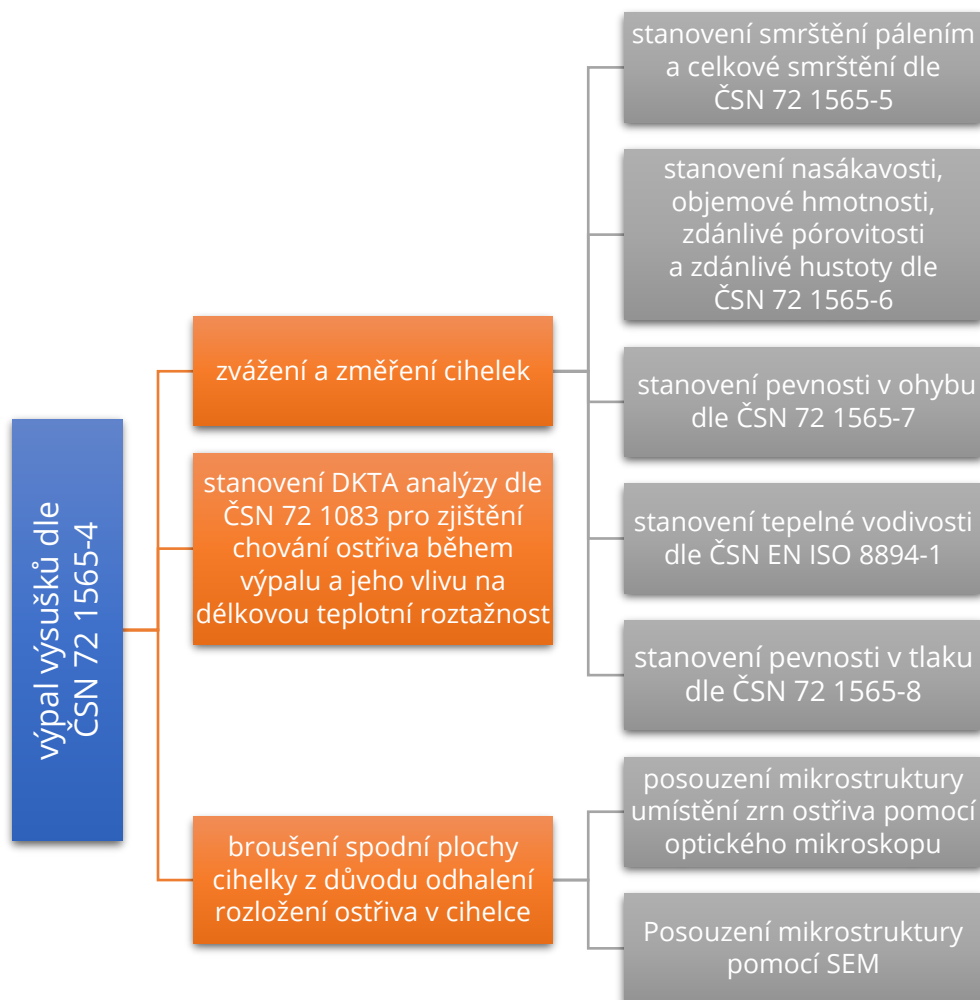
- a. 1. etapa: výroba a analýza granulátu z cihelného brusného prachu, analýza ostřiv vybrané pro porovnávání



b. 2. etapa: výroba keramického těsta, vytváření cihel a jejich sušení



c. 3. etapa: výpal výsušků, zkoušky prováděné na vypálených cihelkách



d. 4. etapa: shrnutí výsledků a jejich vyhodnocení



C. Ověření vybraných částí navržené metodiky

a. 1. etapa: výroba a analýza vstupní suroviny – granulátu z cihelného brusného prachu

1. etapa se zabývala výrobou a analýzou vstupní suroviny granulátu z cihelného brusného prachu. Díky spolupráci s firmou Svoboda a syn, s. r. o. mi bylo umožněno navrhnout a provést peletizaci cihelného brusného prachu.

▪ Výroba a složení granulátu

Výroba granulátu z cihelného brusného prachu proběhla u firmy Svoboda a syn s. r. o. na peletizačním talíři. Cihelný brusný prach pochází z cihelny společnosti Wienerberger, s. r. o., cihelna Šlapanice.

Granulát je složen z portlandského cementu a prosátého cihelného brusného prachu s velikostí zrna <1 mm. Prosátí bylo provedeno z důvodu, že cihelný brusný prach obsahuje i větší úlomky střeptů z výroby, které způsobují špatné nabalování prachu při peletizaci.

Jelikož cihelný prach sám o sobě nemá tendenci tuhnout ani tvrdnout, bylo zapotřebí přidat nějaký druh pojiva, které je silnější než voda. Jako nejvhodnější varianta byl zvolen portlandský cement. Směs obsahovala 88 % cihelného brusného prachu, který byl prosátý pomocí síta s velikostí ok 1 mm. K cihelnému brusnému prachu o frakci 0–1 mm se přidalo 12 % CEM I 42,5 R. Tato směs se na sucho zhomogenizovala v míchačce s nuceným oběhem po dobu cca 1 min. Směs je vyobrazená na obr. č. 3. Před peletizací se směs ovlhčila na 5 % vlhkosti kvůli snížení prašnosti. Vlhčení proběhlo v míchačce s nuceným oběhem, kde se směs promíchávala cca 2-3 min. Vlhká směs se začala dávkovat na peletizační talíř, kde již byly připravené trysky s vodou. Voda zde funguje jako prvotní pojivo směsi, než začnou hydratační procesy cementu a zároveň slouží jako hydratační voda pro hydrataci cementu.

Z peletizačního talíře se odebírala frakce granulátu 1 mm až 4 mm. Hotový granulát se nechal zrát v paronepropustném pytli po dobu 28 dní z důvodu zachování potřebné vlhkosti pro vytvoření hydratačních reakcí cementu. Vlhkost vyrobeného granulátu po peletizaci byla 17,68 %. Vlhkost byla zjištěna pomocí přístroje KERN. Vyrobený granulát je vyobrazen na obr. č. 4. níže.



Obrázek 3. Vstupní surovina – cihelný brusný prach s CEM I 42,5 R



Obrázek 4. Vyrobený granulát z cihelného brusného prachu

▪ Sítový rozbor granulátu

Zkouška sítového rozboru granulátu byla provedena dle normy ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – část 1: Stanovení zrnitosti – sítový rozbor, která je popsána v teoretické části této bakalářské práce.

Zkouška byla provedena s normovými velikostmi ok sít do 2 mm, a to včetně doplňkových sít s velikostí oka 0,04 mm a 0,09 mm. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4. [12]

Výsledky zkoušky budou sloužit pro porovnání změny granulometrie granulátu po průchodu válcovým mlýnem spolu s keramickým těstem, jehož vyhodnocení se nachází v tabulce č. 10. a jeho grafické znázornění v grafu č. 1.

Z vyhodnocení sítového rozboru je patrná převažující frakce 2-4 mm. Je to především z důvodu možností technologie peletování. Granulát o frakcích pod 1 mm se v nynější době nepodařilo vyrobit. Malé frakce s velikostí pod 1 mm obsažené v sítovém rozboru jsou především ještě nezpevněné sbalky.

Tabulka 4. Sítový rozbor granulátu z cihelného brusného prachu dle ČSN EN 933-1

| velikost ok síta [mm] | zůstatek na síti [%] | součtová procenta [%] |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| 2 | 80,4 | 99,6 |
| 1 | 16,8 | 19,2 |
| 0,5 | 0,7 | 2,4 |
| 0,25 | 0,4 | 1,7 |
| 0,125 | 0,1 | 1,3 |
| 0,09 | 0,2 | 1,2 |
| 0,063 | 0,4 | 1,0 |
| 0,04 | 0,3 | 0,6 |
| 0 | 0,3 | 0,3 |

- Sypná a setřesená hmotnost granulátu

Stanovení sypné a setřesené hmotnosti bylo stanoveno podle normy ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva, jež je popsána v teoretické části této bakalářské práce.

Zkouška byla provedena ve třech opakováních pro sypnou hmotnost a rovněž ve třech opakováních pro setřesenou hmotnost. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5. pro sypnou hmotnost a v tabulce č. 6. pro setřesenou hmotnost.

Pro porovnání jsou uvedeny sypné hmotnosti křemenného písku Žabčice a sypné hmotnosti diabasu Chrtníky frakce 1-4 mm, které jsou uvedené v tabulce č. 7.

Sypná hmotnost granulátu z cihelného brusného prachu činí 958 kg/m³.

Setřesená hmotnost granulátu z cihelného brusného činí 1110 kg/m³.

Tabulka 5. Sypná hmotnost granulátu z cihelného brusného prachu stanovená dle ČSN EN 1097-3

| Sypná hmotnost cihelného brusného granulátu | | | | |
|---|----------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| hmotnost nádoby a granulátu [kg] | hmotnost nádoby [kg] | objem nádoby [l] | sypná hmotnost [Mg/m ³] | sypná hmotnost [kg/m ³] |
| 2,1632 | 0,3459 | 1,9 | 0,956 | 958,0 |
| 2,1704 | 0,3459 | 1,9 | 0,96 | |
| 2,1665 | 0,3459 | 1,9 | 0,958 | |

Tabulka 6. Setřesená hmotnost granulátu z cihelného brusného prachu stanovená dle ČSN EN 1097-3

| Setřesená hmotnost cihelného brusného granulátu | | | | |
|---|----------------------|------------------|---|---|
| hmotnost nádoby a granulátu [kg] | hmotnost nádoby [kg] | objem nádoby [l] | setřesená hmotnost [Mg/m ³] | setřesená hmotnost [kg/m ³] |
| 2,4081 | 0,3459 | 1,9 | 1,085 | 1110,0 |
| 2,4629 | 0,3459 | 1,9 | 1,114 | |
| 2,5040 | 0,3459 | 1,9 | 1,136 | |

Tabulka 7. Srovnání sypných hmotností granulátu, křemenného písku Žabčice a diabasu Chrtníky frakce 1-4 mm [38]

| Materiál | Sypná hmotnost [kg/m ³] |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Granulát z CBP | 960 |
| Křemenný písek Žabčice | 1350 |
| Diabas Chrtníky frakce 1-4 mm | 1400 |

b. 2. etapa: příprava vzorků

2. etapa se zabývala vytvořením směsí plastického těsta se třemi druhy ostřiv, pak samotným vytvářením plastického keramického těsta, jeho průchodem přes laboratorní válcový mlýn a změnou granulometrie ostřiva. Zabývala se také vytvářením cihlek z plastického těsta a jejich následným sušením dle ČSN 72 1565-4 Zkoušení cihlářských zemin. Vytváření, sušení a výpal zkušebních tělísek.

▪ Vytváření plastického těsta

Návrh činil deset různých složení keramických plastických těst se třemi druhy ostřiv a jedno keramické těsto bez obsahu ostřiva. Návrhová složení keramických těst jsou uvedena v tabulce č. 8. níže. Ostřivo tvořilo vždy jinou procentuální část plastického těsta.

Ostřivo bylo dávkováno hmotnostně a obsahovalo frakci 1-4 mm. Jedna receptura činila 300 g.

Tabulka 8. Návrhové složení keramického plastického těsta

| druh ostřiva | označení vzorku | množství ostřiva [%] | hmotnost ostřiva [g] | hmotnost kaolínu Sedlec [g] | V ostřiva [l] |
|------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|---------------|
| granulát z CBP | C1 | 10 | 30 | 270 | 0,031 |
| | C2 | 20 | 60 | 240 | 0,062 |
| | C3 | 40 | 120 | 180 | 0,125 |
| křemenný písek Žabčice | P1 | 10 | 30 | 270 | 0,021 |
| | P2 | 20 | 60 | 240 | 0,043 |
| | P3 | 40 | 120 | 180 | 0,086 |
| Diabas Chrtínky | K1 | 10 | 30 | 270 | 0,021 |
| | K2 | 20 | 60 | 240 | 0,043 |
| | K3 | 40 | 120 | 180 | 0,086 |
| bez ostřiva | N1 | 0 | 0 | 300 | 0 |

V ostřiva – orientační objemové zastoupení ostřiva v keramickém těstě

Z uvedených směsí se připravila plastická těsta o přibližně stejném deformačním poměru 0,6 podle Pfefferkorna, který se stanovuje dle ČSN 72 1074 Stanovení optimální a pracovní vlhkosti keramických těst Pfefferkornovým přístrojem. Nejvíce vlhkosti obsahovalo těsto s obsahem granulátu, následovalo těsto bez ostřiva, poté s křemenným pískem a nejméně vlhkosti mělo těsto s diabasem. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Největší obsah vlhkosti u keramického těsta s přídavkem granulátu se zdál jako pravděpodobný, protože měl nejnižší sypanou hmotnost, oproti křemennému písku a diabasu, a tak se dá očekávat, že bude více pórovitý. Stanovení vlhkosti se provedlo podle normy ČSN EN ISO 12570 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě. Výpočet vlhkosti je stanovený následujícím vzorcem:

$$W = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

m_w – vlhký vzorek [g]

m_s – vysušený vzorek [g]

W – vlhkost vzorku [%]

Tabulka 9. Zjištěné vlhkosti keramického těsta dle ČSN EN ISO 12570

| Ozn. vzorku | m_w [g] | m_s [g] | W [%] |
|-------------|-----------|-----------|--------------|
| N1 | 166,73 | 120,17 | 38,75 |
| C1 | 172,28 | 127,66 | 34,95 |
| C2 | 165,41 | 118,76 | 39,28 |
| C3 | 171,97 | 130,84 | 31,44 |
| P1 | 170,10 | 125,62 | 35,41 |
| P2 | 165,02 | 119,94 | 37,59 |
| P3 | 174,30 | 134,63 | 29,47 |
| K1 | 168,31 | 122,34 | 37,58 |
| K2 | 174,72 | 131,96 | 32,40 |
| K3 | 182,57 | 143,50 | 27,23 |

m_w – hmotnost cihelky po vyrobení [g]

m_s – hmotnost cihelky po vysušení, tedy hmotnost výsušku [g]

W – vlhkost keramického těsta [%]

- Průchod těsta válcovým mlýnem

Vytvořená plastická těsta s různými typy ostřiv se po částech nechala procházet laboratorním válcovým mlýnem Verdés, typ 080 s rozpětím mezi válci cca 2,1 mm.

Předpoklad průchodu keramických těst válcovým mlýnem je, že obsažené ostřívo v keramickém těstě se rozdrtí do poměrně stejné frakce, a nerozdrtí se na příliš jemné frakce ostřiva a zároveň nezůstanou větší frakce ostřiva. Zároveň válcový mlýn minimálně ovlivní vlhkost připraveného těsta.

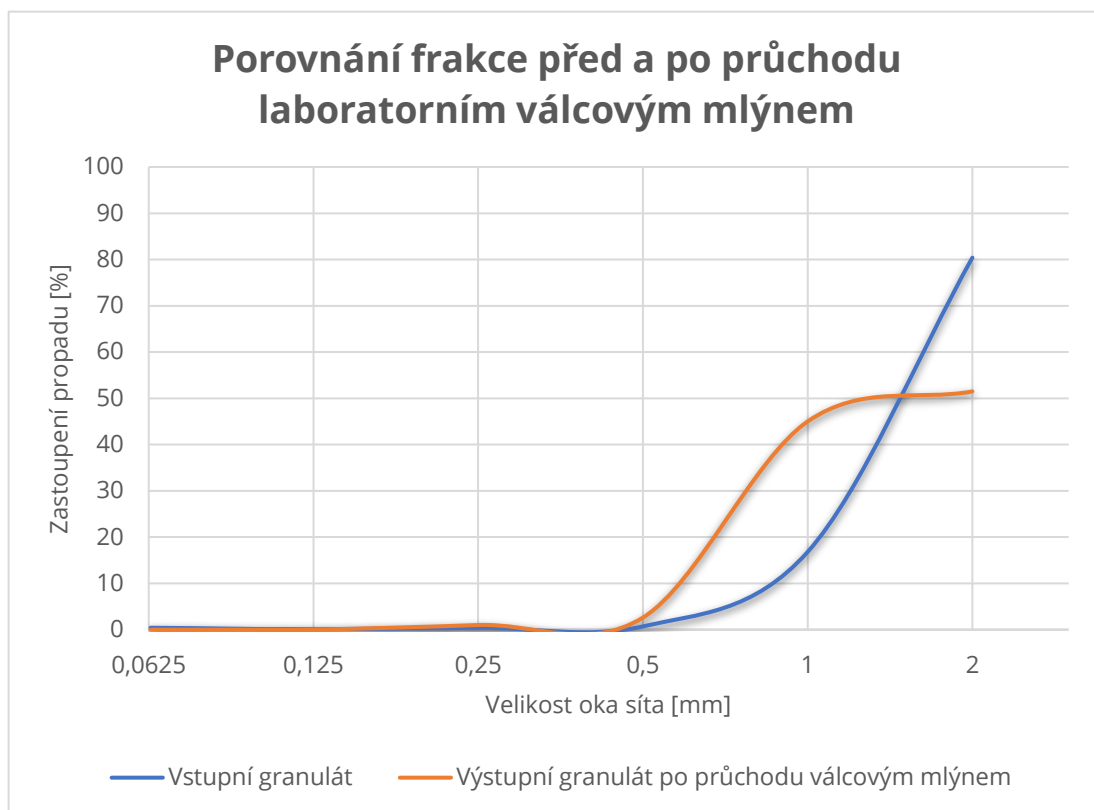
Z keramického těsta s obsahem granulátu se odebral vzorek, z něhož se provedla zkouška síťového rozboru plavením dle ČSN EN 933-1 za účelem zjištění změny granulometrie granulátu z cihelného brusného prachu po průchodu válcovým mlýnem. Zjištěná granulometrie se porovnála s granulometrií granulátu před průchodem válcovým mlýnem. Porovnání granulometrií je v tabulce č. 10. a grafické porovnání v grafu č. 1.

Z grafického vyhodnocení je patrné snížení granulometrie ostřiva. Navýšil se počet frakce 1-2 mm, ale zároveň se nenavýšil počet jemných frakcí pod

velikost 0,125 mm. Největší zastoupení má stále frakce 2-4 mm, ale téměř ji dorovnála frakce 1-2 mm.

Tabulka 10. Změna granulometrie granulátu před a po průchodu laboratorním válcovým mlýnem, provedená dle ČSN EN 933-1.

| velikost ok síta [mm] | frakce granulátu před průchodem válcovým mlýnem [%] | frakce granulátu po průchodu válcovým mlýnem [%] |
|-----------------------|---|--|
| 2 | 80,4 | 51,5 |
| 1 | 16,8 | 45,0 |
| 0,5 | 0,7 | 2,6 |
| 0,25 | 0,4 | 1,0 |
| 0,125 | 0,1 | 0,0 |
| 0,09 | 0,2 | 0,0 |
| 0,063 | 0,4 | 0,0 |
| 0,04 | 0,3 | 0,0 |
| 0 | 0,3 | 0,0 |



Graf 1. Porovnání frakce granulátu před a po průchodu válcovým mlýnem

- Homogenizace těsta a vytváření vzorků

Po průchodu keramického těsta válcovým mlýnem se těsto ručně zhomogenizovalo a připravilo na vytvoření cihelky.

Z každého typu keramického těsta se vytvořila jedna cihelka v kovové formě dle normy ČSN 72 1565-4 Zkoušení cihlářských zemin. Vytváření, sušení a výpal zkušebních tělísek.

- Vážení vzorků

Po vytvoření cihelky v kovové formě se cihelka zvažila s přesností na dvě desetinná místa.

- Sušení, zvážení a změření vzorků

Zvážená cihelka se nechala samovolně sušit, dosoušení proběhlo v sušárně při 110 °C dle ČSN 72 1565-4. Provedlo se vážení výsušků s přesností na dvě desetinná místa, zároveň se provedlo měření délky, šířky a výšky vzorku za účelem zjištění smrštění sušením, které se provádí podle normy ČSN 72 1565-5 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení délkových změn sušením a pálením, jehož vyhodnocení je uvedeno v tabulce č. 11.

c. 3. etapa: výpal výsušků, zkoušky vypálených cihel

3. etapa se zabývala výpalem výsušků dle ČSN 72 1565-4, jejich měřeními a váženími.

Po výpalu se pomocí zabroušené plochy zjišťovalo rozložení a tvar použitého ostřiva. Na vypálených cihelkách byla provedena zkouška tepelné vodivosti.

- Výpal, zvážení a změření cihel

Provedl se výpal výsušků dle ČSN 72 1565-4 Zkoušení cihlářských zemin. Vytváření, sušení a výpal zkušebních tělísek. Výpal probíhal při 850 °C a to rychlostí 2,5 °C za minutu, s 60minutovou výdrží na finální teplotě.

Vypálené cihelky se po ochlazení zvážily s přesností na dvě desetinná místa, a zároveň se změřila jejich výsledná délka, šířka a výška po výpalu za účelem zjištění hodnoty smrštění pálením a zároveň pro zjištění celkového smrštění cihelky od vyrobení. Zkouška se prováděla podle normy ČSN 72 1565-5 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení délkových změn sušením a pálením, její vyhodnocení je uvedeno v tabulce č. 11.

Nejmenší smrštění pálením a celkové smrštění se projevilo u vzorků s největším obsahem ostřiva, kde tohle je jedna z vlastností, proč se ostřivo používá, tedy aby snížilo smrštění vzorků.

Ze zjištěných rozměrů se vypočetla objemová hmotnost výsušku a vypáleného střepu, jejíž hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tabulka 11. Vyhodnocení délkových změn sušením DS, pálením DP a celkové smrštění cihelky DC dle ČSN 72 1565-5

| Ozn. vzorku | l_z [mm] | l_s [mm] | l_s [mm] | DS [%] | l_{sv} [mm] | l_{sv} [mm] | DP [%] | DC [%] |
|-------------|------------|----------------|------------|--------|----------------|---------------|--------|--------|
| N1 | 100 | 94,93 95,35 | 95,14 | 4,9 | 93,72 94,22 | 93,97 | 1,2 | 6,0 |
| C1 | 100 | 96,06 96,15 | 96,11 | 3,9 | 94,90 95,05 | 94,98 | 1,2 | 5,0 |
| C2 | 100 | 94,93 95,25 | 95,09 | 4,9 | 93,83 93,88 | 93,86 | 1,3 | 6,1 |
| C3 | 100 | 97,21 97,88 | 97,55 | 2,5 | 96,20 97,00 | 96,60 | 1,0 | 3,4 |
| P1 | 100 | 95,29 94,90 | 95,10 | 4,9 | 94,38 94,27 | 94,33 | 0,8 | 5,7 |
| P2 | 100 | 93,67 93,92 | 93,80 | 6,2 | 93,29 93,55 | 93,42 | 0,4 | 6,6 |
| P3 | 100 | 94,45 95,16 | 94,81 | 5,2 | 94,49 95,28 | 94,89 | 0,1 | 5,1 |
| K1 | 100 | 93,72 94,91 | 94,32 | 5,7 | 93,04 94,32 | 93,68 | 0,7 | 6,3 |
| K2 | 100 | 95,78 96,09 | 95,94 | 4,1 | 94,85 94,94 | 94,90 | 1,1 | 5,1 |
| K3 | 100 | 95,88 96,37 | 96,13 | 3,9 | 95,20 95,85 | 95,53 | 0,6 | 4,5 |

l_z – délka cihelky po vyrobení [mm]

l_s – délka cihelky po vysušení, tedy délka výsušku [mm]

DS – délkové smrštění sušením [%]

DP – délkové smrštění pálením [%]

l_{sv} – délka cihelky po vypálení [mm]

DC – celkové délkové smrštění cihelky [%]

Tabulka 12. Objemová hmotnost vysušených a vypálených cihlek

| Ozn. vzorku | m_s [g] | l_s [mm] | b_s [mm] | h_s [mm] | ρ_s [kg/m ³] | l_{sv} [mm] | b_{sv} [mm] | h_{sv} [mm] | ρ_v [kg/m ³] |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| N1 | 120,17 | 95,14 | 47,34 | 17,98 | 1480 | 106,21 | 46,48 | 17,67 | 1380 |
| C1 | 127,66 | 96,11 | 47,36 | 18,20 | 1540 | 113,66 | 48,31 | 17,93 | 1380 |
| C2 | 118,76 | 95,09 | 47,44 | 18,09 | 1460 | 106,72 | 46,88 | 17,83 | 1360 |
| C3 | 130,84 | 97,55 | 48,66 | 18,69 | 1470 | 119,25 | 48,13 | 18,40 | 1390 |
| P1 | 125,62 | 95,10 | 47,39 | 17,99 | 1550 | 112,38 | 46,89 | 17,61 | 1440 |
| P2 | 119,94 | 93,80 | 46,95 | 17,60 | 1550 | 108,67 | 46,59 | 17,49 | 1430 |
| P3 | 134,63 | 94,81 | 47,52 | 18,34 | 1630 | 125,23 | 47,55 | 18,14 | 1530 |
| K1 | 122,34 | 94,32 | 47,11 | 17,64 | 1560 | 109,79 | 46,72 | 17,50 | 1430 |
| K2 | 131,96 | 95,94 | 47,33 | 17,88 | 1630 | 118,25 | 46,84 | 17,68 | 1500 |
| K3 | 143,50 | 96,13 | 47,70 | 17,92 | 1750 | 130,20 | 47,42 | 17,78 | 1620 |

m_s – hmotnost výsušku [g]

l_{sv} – délka cihelky po výpalu [mm]

l_s – délka výsušku [mm]

b_{sv} – šířka cihelky po výpalu [mm]

b_s – šířka výsušku [mm]

h_{sv} – výška cihelky po výpalu [mm]

h_s – výška výsušku [mm]

ρ_v – objemová hmotnost cihelky po výpalu

ρ_s – objemová hmotnost výsušku [kg/m³]

[kg/m³]

- Optické zhodnocení rozložení a tvaru ostřiva ve vypáleném střepu

Spodní plocha každé cihelky se po vypálení zbrousila, a to z důvodu odhalení struktury keramického střepu, za účelem zjištění rozložení, tvaru a změny granulometrie ostřiva po průchodu válcovým mlýnem. Zjišťování změny granulometrie u křemenného písku a diabasu se provedlo pouze opticky ve vypáleném střepu. Obroušené cihelky jsou vyobrazené na obr. č. 5. níže.

Na zbroušené hraně cihelky díky světlé barvě použitého kaolínu, je zřetelně vidět rozložení, tak i tvar použitého ostřiva. Je zde patrné jiné objemové množství použitého ostřiva, protože bylo dávkováno hmotnostně a ne objemově, což se nám tady projevilo díky odlišným sypným hmotnostem použitého ostřiva.

Je zde i zřetelně místy vidět špatné zhomogenizování surovinové směsi. Tvar ostřiva je ostrohraný především u křemenného písku a diabasu. U granulátu je tvar ostřiva spíše oblý, s výjimkou granulátu nad 2 mm, kde se díky použití válcového mlýna rozdrtilo na menší frakci.



Obrázek 5. Optické porovnání rozložení ostřiva v cihelkách [40]

- Stanovení pevnosti v tlaku a ohybu.

Pevnost v tlaku je uvažována pouze teoreticky na základě zjištěných objemových pevností.

Stanovení pevnosti v tlaku se stanovuje dle ČSN 72 1565-8 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení pevnosti v tlaku.

Stanovení pevnosti v ohybu se stanovuje dle ČSN 72 1565-7 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení pevnosti v ohybu.

Dle zjištěných objemových hmotností je tu pravděpodobnost, že největší pevnosti budou mít cihelky s největší objemovou hmotností, avšak je zapotřebí provést normové zkoušky pevnosti.

- Tepelná vodivost

Stanovení tepelné vodivosti bylo stanoveno pomocí přístroje ISOMET 2114. Jedná se o přenosný ruční měřicí přístroj pro přímé měření prostupnosti tepla pro širokou škálu izotropních materiálů. Je vybaven dvěma typy sond, a to jehlovou sondou pro měkké materiály a povrchovou sondou pro tvrdé materiály. Využívá nestacionární metody měření. [41]

Naměřené výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 13. níže.

Hodnoty výsledků jsou spíše diskutabilní. Při opakovaném měření se u stejného vzorku výsledky lišili i o desetinu. Je pravděpodobnost, že zkoušené vzorky nebyly řádně vysušené. Je potřeba provedení obsáhlejšího měření.

Tabulka 13. Naměřené hodnoty měrné tepelné vodivosti pomocí přístroje ISOMET 2114

| Ozn. | λ_1 [W/m·K] | λ_2 [W/m·K] | λ_3 [W/m·K] | λ [W/m·K] |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| N1 | 0,2078 | 0,2068 | 0,2078 | 0,207 |
| C1 | 0,2348 | 0,2391 | 0,2358 | 0,237 |
| C2 | 0,2136 | 0,2125 | 0,2158 | 0,214 |
| C3 | 0,2443 | 0,2433 | 0,2471 | 0,245 |
| P1 | 0,3744 | 0,3808 | 0,3792 | 0,378 |
| P2 | 0,2267 | 0,2239 | 0,2250 | 0,225 |
| P3 | 0,3589 | 0,3576 | 0,3583 | 0,358 |
| K1 | 0,2874 | 0,2906 | 0,2910 | 0,290 |
| K2 | 0,2792 | 0,2792 | - | 0,279 |
| K3 | 0,2565 | 0,2563 | 0,2580 | 0,257 |

D. Shrnutí výsledků

Stanovení sypané a setřesené hmotnosti nám ukázalo menší hodnoty u granulátu z CBP, než u křemenného písku a diabasu, které měli sypané hmotnosti velmi podobné.

Porovnání síťového rozboru před a po průchodu laboratorním válcovým mlýnem nám ukázalo, že se granulometrie rozdělila převážně do dvou frakcí, a to 2-4 mm a 1-2 mm. Menší frakce měli velmi nízké hodnoty, nebo byly nulové.

Dávkování vstupních surovin bylo provedeno hmotnostně, což se projevilo na jiném objemovém zastoupení ostřiva v keramickém těstě, protože podle zjištěných sypných hmotností se sypná hmotnost granulátu z cihelného brusného prachu dosti lišila od sypných hmotností křemenného písku a diabasu. Z tohoto důvodu je porovnávání ostřiv mezi sebou z praktického hlediska spíše nepřínosné, neboť ostřivo vždy zaujímá jinou procentuální část cihelky. Porovnání tedy proběhlo mezi stejnými ostřivy a zaměřovalo se převážně na ostřivo vyrobené z cihelného brusného prachu ve formě granulátu.

Ostřivo způsobilo u všech vzorků s 40 % ostřiva menší smrštění oproti vzorku bez ostřiva. Tedy i granulát z CBP nám zde fungoval jako ostřivo.

Objemová hmotnost u vzorků s obsahem granulátu byla o dost menší, než vzorky s křemenným pískem a diabasem, a to i přes fakt, že v cihelkách s granulátem bylo obsaženo objemově více ostřiva než v ostatních vzorcích, což lze přisoudit nízké sypné hmotnosti granulátu.

Po obroušení plochy cihelky byli viditelné rozdíly v dávkování ostřiva. Ostřivo ve formě granulátu zaujímalo více objemu, než ostřivo ve formě křemenného písku a diabasu. Je to způsobeno rozdílnou sypnou hmotností použitých ostřiv. Dále byla viditelné místa se špatně zhomogenizovaným těstem, kde se tvořili malé shluky větších frakcí, nebo naopak menších.

5. Závěr

V teoretické části této bakalářské práce je objasněno zařazení ostřiv v cihlářské technologii do neplastických surovin, dále je ujasněn pojem ostřivo.

Dále se zabývá druhy používaných ostřiv v cihlářské technologii. Jedná se převážně o ostřiva používaná v tuzemsku. Jsou uvedené příklady nejčastěji používaných ostřiv v cihlářské technologii, kde jsou uvedeny jejich vlastnosti, popřípadě i vznik, nebo výroba. Dále jsou uvedeny ostřiva pro žárovzdornou výrobu, jemnou keramiku a také suroviny, které plní funkci jak ostřiva, tak lehčiva v cihlářském střepe.

Pokračuje uvedením vybraných normových zkoušek prováděných na kamenivech, které lze použít i pro většinu ostřiv.

V další části jsou uvedeny vybrané dosavadní publikované pokusy o výrobu nebo využití uměle vyráběných ostřiv jak v tuzemsku, tak ve světě.

Další část uvádí umělá ostřiva dostupná na trhu.

Poslední část se zabývá přiblížením funkce válcového mlýna.

V praktické části je uvedena metodika na posuzování kompatibility cihlářských ostřiv. Jedná se o návrh provedení rozsáhlejšího výzkumu. Metodika je rozdělena na čtyři etapy, které na sebe úzce navazují. Část metodiky byla laboratorně ověřena.

První etapa se zabývá výrobou a analýzou vstupní suroviny granulátu z cihelného brusného prachu (CBP). Provedla se peletizace směsi 80 % cihelného brusného prachu s 12 % CEM I 42,5 R, který fungoval jako pojivo v kombinaci s vodou. Pro účely peletizace se použil cihelný brusný prach z cihelny Šlapanice společnosti Wienerberger, s. r. o. Granulát z CBP byl podroben zkoušce síťového rozboru dle ČSN EN 933-1, jehož výsledek byl použit pro srovnání granulometrie granulátu po průchodu válcovým mlýnem. U granulátu z CBP byla provedena zkouška pro určení sypné a setřesené hmotnosti dle ČSN EN 1097-3. Hodnota sypné a setřesené hmotnosti granulátu byla porovnána s uváděnou sypnou hmotností písku z lokality Žabčice a stanovenou sypnou hmotností diabasu Chrtínky frakce 1-4 mm. Ze zjištěných hodnot měl nejmenší sypnou hmotnost granulát z CBP a největší sypnou hmotnost diabas Chrtínky.

Druhá etapa se zabývala návrhem směsí plastického těsta, pak samotným vytvářením plastického těsta a jeho průchod válcovým mlýnem. Návrh obsahoval deset různých složení keramických těst se třemi druhy ostřiva, kde ostřivo tvořilo vždy jinou procentuální část. Suroviny byly dávkovány hmotnostně, což se pak projevilo i na rozložení a množství ostřiva, především u granulátu z CBP, protože má odlišnou sypanou hmotnost než křemenný písek a diabas. Vytvořené těsto se nechalo projít přes laboratorní válcový mlýn, a to z důvodu zmenšení frakce ostřiva. Po průchodu těsta válcovým mlýnem se odebral vzorek těsta s obsahem granulátu z CBP na zkoušku stanovení síťového rozboru dle ČSN EN 933-1 a to z důvodu zjištění změny granulometrie ostřiva po průchodu válcovým mlýnem, jehož rozpětí mezi válci bylo cca 2,1 mm. Zjištěná granulometrie po průchodu válcovým mlýnem se porovnávala s granulometrií granulátu. Z grafu síťového rozboru je zřetelná změna granulometrie ostřiva, kde po průchodu válcovým mlýnem obsahovala více menších frakcí, zároveň ale nepřibýly jemné frakce pod 0,125 mm. Největší zastoupení má frakce 2-4 mm a 1-2 mm. Stanovovala se také změna délky sušením dle ČSN 72 1565-5.

Třetí etapa se zabývala výpalem výsušků a jejich následným zkoušením. Výpal výsušků proběhl na 850 °C. Provedlo se vyhodnocení délkových změn cihel dle ČSN 72 1565-5. Nejmenší celkové smrštění bylo vždy u vzorku s nejvíce procenty ostřiva. Objemová hmotnost u vypálených cihel byla nejvyšší u všech vzorků s nejvíce procenty ostřiva. Rozložení ostřiva bylo opticky zhodnoceno. Na obroušených cihelkách byl vidět rozdíl, že granulát z CBP má jinou sypanou hmotnost než diabas a křemenný písek. Zároveň zde bylo vidět, že po průchodu laboratorním válcovým mlýnem se obsažené ostřivo nerozdrtilo na příliš malé frakce. Na cihelkách je i vidět v určitých místech nedostatečná homogenizace směsi. Díky zjištěným objemovým hmotnostem se může diskutovat o pevnostech cihel. Je zde předpoklad, že cihelky s větší objemovou hmotností, budou mít lepší výsledky pevností než naopak cihelky s nízkou objemovou hmotností. Je však zapotřebí jejich odzkoušení. Z důvodu kolísání výsledků z měření tepelné vodivosti, je i zde zapotřebí provést obsáhlejší měření vzorků.

6. Seznam použitých zdrojů

- [1] PYTLÍK, Petr a Radomír SOKOLÁŘ. *Stavební keramika: technologie, vlastnosti a využití*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-234-3.
- [2] POSPÍŠIL, Zdeněk a Aleš KOLLER. *Jemná keramika: Úvod a základy technologie*. Praha: SNTL, 1981.
- [3] LACH, Vladimír. *Keramika*. 3. vyd. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0332-2.
- [4] PYTLÍK, Petr. *Cihlářství*. Brno: CERM, 1995. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-2140-612-4.
- [5] HANYKÝŘ, Vladimír a Jaroslav KUTZENDÖRFER. *Technologie keramiky*. Praha: Silikátový svaz, 2008. ISBN 978-80-86821-48-1.
- [6] LACH, Vladimír. *Teoretické základy výroby pálených stavebních látek: keramika II*. Praha: VN MON, 1989.
- [7] Kalcit: Charakteristika minerálu. *Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze* [online]. 2003 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/kalcit.html>
- [8] ZBYNĚK, Láznicka. *Bezprašné sypké ostřívo se sníženou nasákavostí pro keramickou a cihlářskou výrobu*. Praha: Úřad průmyslového vlastnictví, 1982. Československá socialistická republika. 1955004 Patenty a užitné vzory. Přihlášeno 22. 11. 1976. Uděleno 01. 02. 1982. Dostupné také z: <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/Patents/FullDocuments/195/195004.pdf>
- [9] KORSA, Bohuslav, František TOMŠŮ, Stanislav VANĚK, Anna HUBKOVÁ a Irena LANGROVÁ. *Spinelitické ostřívo a způsob jeho výroby*. Praha: Úřad průmyslového vlastnictví, 2001. Česká republika. 282914 Patenty a užitné vzory. Přihlášeno 20. 04. 1995. Uděleno 16. 09. 1997. Dostupné také z: <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/Patents/FullDocuments/282/282914.pdf>

- [10] Kaolin - Geologická encyklopedie. *Geologická encyklopedie* [online]. Česká republika: Jan Petránek 1993; Česká geologická služba 2006, 2006 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?kaolin>
- [11] HELA, Rudolf a Radomír SOKOLÁŘ. *Zkušebnictví a technologie: Modul BI02 - M01*.
- [12] BUREŠOVÁ, Eliška. *Vývoj podmínek peletizace vedlejších energetických produktů* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/179806>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Radomír Sokolář.
- [13] PALOVČÍK, Jakub. *Možnosti využití cihelného ohrusu v systémech na bázi portlandského cementu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/64789>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Tomáš Opravil.
- [14] Roller Mill. *Pharmapproach.com* [online]. 2019, 21. 07. 2019 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.pharmapproach.com/roller-mill/>
- [15] Size reduction, comminution - grinding and milling of powders. In: *PowderProcess.net* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://powderprocess.net/Grinding_Milling.html
- [16] LUIZA, Maria, Elaine CARVALHO a Larissa SOBRINHO. Production and characterization of a novel artificial stone using brick residue and quarry dust in epoxy matrix. *Journal of Materials Research and Technology* [online]. 2018, **7**(4), 492-498 [cit. 2020-05-29]. DOI: 10.1016/j.jmrt.2018.08.012. ISSN 2238-7854. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785417307639>
- [17] ALUMINIUMOXIDE MIT QUALITÄTSKONSTANZ. *Nabaltec* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://nabaltec.de/produkte/aluminiumoxid/>

- [18] Products. *Kyanite Mining Corporation* [online]. 2019 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://kyanite.com/products>
- [19] Dense Corundum. *Henan Cunse Group Co., Ltd.* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://www.cncunse.com/basic-materials/dense-corundum.html>
- [20] NAIGAI CERABEADS 60. *ITOCHU CERATECH CORPORATION* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://www.itc-cera.co.jp/english/prod/index.html>
- [21] OSTRÉZÍ, Filip. *Ostřiva slévarenských formovacích a jádrových směsí* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/65828>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petr Cupák.
- [22] ANTOŠ, Petr, Barbora ANTOŠOVÁ, Alois BURIAN a Pavel ROUBÍČEK. Praktické výstupy (přehled): Funkční vzorek ostřiva LK-SAND na bázi hlinitokřemičitanu. *UniCRE* [online]. 2012 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.unicre.cz/vysledky-vyzkumu/prakticke-vystupy/26-funkcni-vzorek/174-funkcni-vzorek-ostriva-lk-sand-na-bazi-hlinitokremicitanu>
- [23] ČSN EN 1097-3: *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva*. Druhé vydání. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [24] ČSN EN 933-1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [25] VÁCLAV, Koudele, FRUNDL ZDENĚK ING, SVOBODA DALIBOR ING, Koudele VÁCLAV, FRUNDL ZDENĚK ING a SVOBODA DALIBOR ING. *Způsob výroby keramického ostřiva s vyšším obsahem kysličníku hlinitého*. Praha: Úřad průmyslového vlastnictví, 1983. Dostupné také z: <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/Patents/FullDocuments/210/210751.pdf>

- [26] PTICEN, František a Vojtěch ZÍTKO. *Způsob získávání bílého kalcinovaného plnidla, ostřiva nebo lehčiva s vysokou odrazivostí*. Praha: Úřad průmyslového vlastnictví, 2015. Dostupné také z: <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/Patents/FullDocuments/305/305385.pdf>
- [27] GOMES, Maria Luiza P.M., Elaine A.S. CARVALHO, Larissa N. SOBRINHO, Sergio N. MONTEIRO, Rubén J.S. RODRIGUEZ a Carlos Maurício F. VIEIRA. Production and characterization of a novel artificial stone using brick residue and quarry dust in epoxy matrix. *Journal of Materials Research and Technology* [online]. Elsevier BV, 2018, **7**(4), 492-498 [cit. 2020-05-30]. DOI: 10.1016/j.jmrt.2018.08.012. ISSN 2238-7854. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785417307639>
- [28] DOMÍNGUEZ, Eduardo A. a Rosa ULLMANN. 'Ecological bricks' made with clays and steel dust pollutants. *Applied Clay Science* [online]. Elsevier BV, 1996, **11**(2), 237-249 [cit. 2020-05-30]. DOI: 10.1016/s0169-1317(96)00020-8. ISSN 0169-1317. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131796000208>
- [29] MACHADO, A. T., C. A.C. de SOUZA, F. R. VALENZUELA-DIAZ a L. R.P. de Andrade LIMA. Structural ceramics made with clay and steel dust pollutants. *Applied Clay Science* [online]. Elsevier BV, 2011, **51**(4), 503-506 [cit. 2020-05-30]. DOI: 10.1016/j.clay.2011.01.004. ISSN 0169-1317. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131711000093>
- [30] ZAWRAH, M. F., R. A. GADO, N. FELTIN, S. DUCOURTIEUX a L. DEVOILLE. Recycling and utilization assessment of waste fired clay bricks (Grog) with granulated blast-furnace slag for geopolymer production. *Process Safety and Environmental Protection* [online].

- Elsevier BV, 2016, **103**, 237-251 [cit. 2020-05-30]. DOI: 10.1016/j.psep.2016.08.001. ISSN 0957-5820. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582016301549>
- [31] CANDIDO, Veronica Scarpini, Regina Maria PINHEIRO, Sergio Neves MONTEIRO a Carlos Maurício Fontes VIEIRA. Microstructural Analysis of Clay Ceramic Added with Argillite and Grog. *Materials Science Forum* [online]. 2014, **798-799**, 219-223 [cit. 2020-05-30]. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.798-799.219>. Dostupné z: <https://www.scientific.net/MSF.798-799.219>
- [32] HOSENY, N. F. Al, Sh K. AMIN, M. M.K. FOUAD a M. F. ABADIR. Reuse of ceramic sludge in the production of vitrified clay pipes. *Ceramics International* [online]. Elsevier BV, 2018, **44**(11), 12420-12425 [cit. 2020-05-30]. DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.04.031. ISSN 0272-8842. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884218308903>
- [33] IBRAHIM, D. M., S. M. NAGA, Z. Abdel KADER a E. ABDEL SALAM. Cordierite-mullite refractories. *Ceramics International* [online]. Elsevier BV, 1995, **21**(4), 265-269 [cit. 2020-05-30]. DOI: 10.1016/0272-8842(95)99792-a. ISSN 0272-8842. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/027288429599792A>
- [34] Stanovení hustoty, uzavřená a skutečná pórovitost, stanovení nasákavosti vakuovou metodou: Stanovení nasákavosti vakuová metoda, stanovení objemové hmotnosti, zdánlivé pórovitosti a zdánlivé hustoty [online]. In: . s. 3-5 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <http://thd.fce.vutbr.cz/bakalar>
- [35] Keramika. Zkoušení stavebních hmot a výrobků [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=cihly_zkouseni

- [36] SOKOLÁŘ, Radomír. NON-TRADITIONAL WHITEWARE BASED ON CALCIUM ALUMINATE CEMENT. *Materiali in tehnologije*. 2015, , 1-5. DOI: 10.17222/mit.2015.182. ISSN 1580-2949.
- [37] Těžba a prodej písku a štěrku. *ZepikoGroup* [online]. 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.zepiko.cz/produkty-a-sluzby/tezba-a-prodej-pisku-a-sterku>
- [38] Žabčice. *Dekorační kameny, vápence a vybrané písky ČR* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <http://kamenolomy.fzp.ujep.cz/index.php?page=record&id=165&tab=fyz>
- [39] *Protokol o zkouškách: kamenolom Chrtínky - diabas* [online]. 31. 05. 2018. Zkušebna kamene a kameniva, s. r. o. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: http://www.euroviakamenolomy.cz/dokumenty/verejne/Vyrobky/ITT/itt_8_31.pdf
- [40] SOKOLÁŘ, Radomír. *Fotografie cihlek* [online]. In: . 2020 [cit. 2020-06-04].
- [41] HERR, Tomáš. *Měření tepelné vodivosti* [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/71578>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Beneš.
- [42] ČSN EN 13055 *Pórovité kamenivo*. Červen 2017. Praha: Český normalizační institut, 2017.